

Studijní program B2341 - Strojírenství

Studijní obor: 2302R022 Stroje a zařízení

Zaměření: Sklářské stroje

Zařízení pro detekci přesnosti tvaru ohýbaných přířezů plochého skla

(Equipment for detection of accuracy of flat glass shapes)

KSR –

Jan SVOBODA

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michal Starý, Ph.D.

Rozsah bakalářské práce:

Počet stran:	55
Počet tabulek:	3
Počet obrázků:	43
Počet výkresů:	25
Počet příloh:	0
Počet modelů:	0

Datum odevzdání: 25. 5. 2012

Zařízení pro detekci ohýbaných přířezů plochého skla

Anotace

Předkládaná práce se zabývá problematikou detekce ohýbaných přířezů plochého skla. V současné době je měření často prováděno pomocí 3D makety, do které je ručně vkládán testovaný vzorek skla. Takové měření je ale drahé, časově náročné a vyžaduje obsluhu. V dnešní době jsou požadavky na 100% kontrolu, ale ta není touto cestou možná a je třeba volit formu bezdotykové kontroly. Řešení nabízí firma ISRA , ovšem její řešení je komplikované a drahé a tedy cenově nedostupné. Cílem bakalářské práce je návrh cenově dostupného řešení na základě teoretických předpokladů a experimentů s využitím optických vlastností skla. Součástí je i konstrukční řešení a výrobní dokumentace k navrženému řešení.

Klíčová slova: ploché sklo, detekce tvaru, optické vlastnosti, analýza obrazu

Equipment for detection of accuracy of flat glass shapes

Annotation

The thesis deals with problem about detection of flat glass shapes. Currently the measurement is often carried using 3D models, in which is manually inserted tested sample of glass. However the measurement is expensive, time consuming and requires servicing. Nowadays there are requirements to control 100% of products and it is not possible in this way. It is necessary to use non-contact ways of measuring. There is a solution by ISRA company but it is complicated and expensive. The aim of bachelor thesis is an affordable solution based on theory and experiments using the optical properties of glass. Part of solution is design and documentation of proposed solution.

Key words: flat glass, detection of shape, optical properties, image analysis

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne 25. 5. 2012

.....

podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce **Ing. Vlastimilu Hotařovi, Ph.D.** za neocenitelné rady, náměty, odborné vedení a čas, který mé práci věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat mému konzultantovi **Ing. Michalu Starému, Ph.D.** za pomoc a rady s konstrukcí zařízení.

Poděkování si také zaslouží moje rodina, která mě v době celého studia podporovala.

Seznam symbolů a jednotek

<i>Označení</i>	<i>Název veličiny</i>	<i>Jednotka</i>
d	průměr	[mm]
l	vzdálenost	[m]
n	index lomu	[-]
P	výkon	[W]
l	dráha	[m]
R	odrazivost světla	[-]
S	plocha	[m ²]
t	čas	[s]
T	propustnost světla	[-]
U	napětí	[V]
u _i	poloha bodu	[px]
v _i	poloha bodu	[px]
v	rychlost	[m/s]
x	vzdálenost bodu	[mm]
y	vzdálenost bodu	[mm]
Φ	světelný tok	[lm]
d	průměr	[m]
θ_B	Brewsterův úhel	[°]
θ_i	úhel dopadu	[°]
θ_l	úhel lomu	[°]
θ_r	úhel odrazu	[°]

Obsah

Úvod	- 11 -
1 Rešerše současného stavu kontroly skla	- 12 -
1.1 Kontrola obalového skla	- 12 -
1.1.1 Systém EVOLUTION 12	- 12 -
1.1.2 Systém EVOLUTION 5	- 12 -
1.2 Kontrola plochého skla	- 13 -
1.2.1 Corrugation Test	- 13 -
1.2.2 Kontrola optické deformace v kraji skla.....	- 13 -
1.2.3 Zkouška stříbřením – mirror test	- 14 -
1.2.4 Užití laserového paprsku	- 14 -
1.2.5 Užití 3D maket	- 15 -
1.3 ISRA	- 17 -
1.4 Nokra	- 17 -
1.5 Mapvision	- 18 -
2 Zpracování obrazu a specifika snímání transparentního materiálu	- 19 -
3 Teorie snímání skla pod velkým úhlem dopadu	- 21 -
3.1 Odraz světelného paprsku.....	- 21 -
3.2 Detekce tvarů plochého skla	- 24 -
3.3 Experiment	- 25 -
3.4 Výsledky experimentu	- 26 -
4 Laboratorní měření	- 28 -
4.1 Metoda promítání zebra desky	- 28 -
4.1.1 Příprava experimentu.....	- 28 -
4.1.2 Princip metody	- 29 -
4.1.3 Měření.....	- 30 -
4.1.4 Zpřesnění výpočtu	- 31 -
4.2 Využití laseru	- 32 -
4.2.1 Příprava experimentu.....	- 32 -
4.2.2 Princip metody snímání laseru přímo.....	- 32 -
4.2.3 Měření metodou snímání laseru přímo	- 33 -
4.2.4 Alternativní princip snímání laseru	- 33 -
4.3 Závěr z měření	- 33 -

5	Informace o softwarovém přepočtu dat	- 34 -
6	Navržená koncepční řešení.....	- 35 -
6.1	Varianta – Robot.....	- 35 -
6.2	Varianta – Pás.....	- 37 -
6.3	Výběr varianty.....	- 39 -
7	Konstrukční řešení vybrané varianty	- 40 -
7.1	Konstrukce boxu.....	- 40 -
7.2	Kamera.....	- 41 -
7.2.1	Upevnění kamery.....	- 42 -
7.2.2	Nastavení pozice kamery ve směru pohybu pásu.....	- 43 -
7.3	Zatmění boxu.....	- 44 -
7.3.1	Pneumotor	- 45 -
7.3.2	Pojezd.....	- 45 -
7.4	Vrata.....	- 46 -
7.5	Světelný zdroj.....	- 46 -
7.5.1	Spodní uložení.....	- 47 -
7.5.2	Vrchní uložení	- 48 -
7.6	Dopravníkový pás.....	- 49 -
7.6.1	Válce dopravníku	- 50 -
7.6.2	Napínání a vedení pásu.....	- 51 -
8	Zhodnocení	- 52 -
	Závěr	- 53 -
	Seznam použité Literatury	- 54 -

Seznam obrázků

Obr. 1	<i>Metoda laserové triangulace.....</i>	- 18 -
Obr. 2	<i>Schéma systému pro obrazovou analýzu</i>	- 20 -
Obr. 3	<i>Schéma zákona odrazu a lomu</i>	- 21 -
Obr. 4	<i>Závislost odrazivosti na úhlu dopadu a polarizaci světla</i>	- 23 -
Obr. 5	<i>Detekce tvarů plochého skla pomocí odrazu</i>	- 24 -
Obr. 6	<i>Šachovnice obrázků jako etalon pro stanovení měřítka.....</i>	- 25 -
Obr. 7	<i>Pozice kamery a os počátku.....</i>	- 25 -
Obr. 8	<i>Rekonstrukce obdélníku</i>	- 27 -
Obr. 9	<i>Rekonstrukce kruhu.....</i>	- 27 -
Obr. 10	<i>Různé druhy zebra desek.....</i>	- 28 -
Obr. 11	<i>Konstrukce držáku pro světlo a zebra desku</i>	- 29 -
Obr. 12	<i>Měřicí stanice, držák světla, kamera, měřený vzorek.....</i>	- 29 -
Obr. 13	<i>První měření</i>	- 30 -
Obr. 14	<i>Měření s vyhovujícími výsledky</i>	- 30 -
Obr. 15	<i>Snímek s deskou bez vzoru.....</i>	- 31 -
Obr. 16	<i>Snímek s vertikálními profily.....</i>	- 31 -
Obr. 17	<i>Měřicí stanoviště - metoda snímání laseru přímo.....</i>	- 32 -
Obr. 18	<i>Výsledný snímek - metoda snímání laseru přímo.....</i>	- 33 -
Obr. 19	<i>3D model varianty s použitím robota</i>	- 35 -
Obr. 20	<i>Nárys a půdorys varianty s robotem</i>	- 36 -
Obr. 21	<i>Nárys a půdorys varianty s pásem.....</i>	- 37 -
Obr. 22	<i>3D model varianty s dopravníkovým pásem.....</i>	- 38 -
Obr. 23	<i>Rohová spojka s kameny.....</i>	- 40 -
Obr. 24	<i>Samolepící velurový potah [11].....</i>	- 41 -
Obr. 25	<i>Kamera Basler [12].....</i>	- 42 -
Obr. 26	<i>Stativová hlava Manfrotto MA 405 [13].....</i>	- 42 -
Obr. 27	<i>Mezikus pro spojení kamery a stativové hlavy.....</i>	- 43 -
Obr. 28	<i>Utahovací kolečko [14]</i>	- 43 -
Obr. 29	<i>Sestava kamery, stativové hlavy a dílů pro uchycení</i>	- 44 -
Obr. 30	<i>Systém zatemnění u vstupu pásu.....</i>	- 44 -
Obr. 31	<i>Dvířka s dílem na uchycení pneumotoru</i>	- 45 -

Obr. 32 Pojezd.....	- 45 -
Obr. 33 Rám dveří s panty a madlem.....	- 46 -
Obr. 34 Samolepící těsnění [15].....	- 46 -
Obr. 35 Příruba se stupnicí.....	- 47 -
Obr. 36 Příruba s ložiskem	- 48 -
Obr. 37 Díl pro nastavení polohy světla.....	- 48 -
Obr. 38 Příruba pro horní uchycení světla.....	- 49 -
Obr. 39 Pásový dopravník	- 49 -
Obr. 40 Konec válce s hřídelí	- 50 -
Obr. 41 Motor SEW	- 50 -
Obr. 42 Napínání.....	- 51 -
Obr. 43 Vedení pásu	- 51 -

Úvod

V současné době je problematika užití optických snímačů přímo na výrobní lince velmi rozšířena a to s ohledem na požadavek na 100 % bezkontaktní kontrolu jakosti. Je řešeno mnoho úloh jako například rozpoznání objektu, poloha, tvar, detekce vad, rozpoznání textu a čtení kódů.

Detekce skla má mnoho specifík daných především transparentcí materiálu. Vypořádání se s tímto problémem není jednoduché, ale existuje několik strategií, jak jej řešit.

Jedním z cílů firem vyvíjejících zařízení pro detekci výrobků ze skla, je sledování průhybu autoskel a stavebního skla po gravitačním tvarování. Měření je často prováděno ručně pro vybraný počet výrobků. K měření se nejčastěji používá tzv. tester, což je 3D maketa, na kterou je ručně pokládán testovaný vzorek skla. Tester je opatřen dotykovými sondami v kontrolních bodech. Takto prováděné měření je časově náročné, vyžaduje obsluhu a je také drahé. Snahou je dále provádět 100 % kontrolu. Cestou je bezdotyková kontrola pomocí systému kamer; takové řešení nabízí firma ISRA. Toto zařízení je ovšem drahé a vyplácí se tak jen u vybraného sortimentu výrobků.

Nejprve je v práci proveden rozbor současného stavu, kde jsou popsány způsoby kontroly skleněných výrobků.

Další dvě kapitoly se věnují zpracování obrazu a popisují specifika spojená se snímáním transparentních materiálu a teorii snímání skla pod velkým úhlem dopadu.

Čtvrtá kapitola je věnována laboratorním měřením za použití dvou metod a zhodnocením výsledků měření.

V následující kapitole je stručně popsáno softwarové zpracování výsledků.

Šestá a sedmá kapitola popisují dvě koncepční řešení a konstrukci zvolené varianty a je popsán postup konstrukce.

Poslední kapitola uvádí stručné zhodnocení technickoekonomických vlastností navrženého zařízení.

1 Rešerše současného stavu kontroly skla

Systémy pro zpracování obrazu jsou čím dál častěji používány i ve sklářském průmyslu a to pro monitorování a kontrolu jakosti především ve výrobě skleněných obalů, plochého skla a skla pro automobilový průmysl. Jedná se především o aplikace na studeném konci linek, kdy sklo již prošlo chladicím procesem a je již ochlazené na teplotu okolí. U těchto aplikací je zásadním problémem transparence materiálu, především u bezbarvého skla. Problematika je řešena vhodným nasvícením anebo podnícením. V případě detekce tvaru je využíváno často pohltivosti (ač minimální) skla a bílého pozadí. V následujícím textu je naznačen stav využití kontroly v rámci skla obecně a následně ve vztahu ke kontrole plochého skla a skla po gravitačním tvarování.

1.1 *Kontrola obalového skla*

1.1.1 **Systém EVOLUTION 12**

Jde o optický systém pro spolehlivou kontrolu lahví a sklenic bez rotace při vysoké rychlosti. Toho je dosaženo pouze zvýšením počtu senzorů. Díky soustavě dvanácti kamer systém nabízí dvanáct pohledů na kontrolovanou položku v rozsahu 360°. Při vhodném rozmístění kamer je kontrolován celý obal od hrdla až po dno bez jakýchkoliv problémů. Rozlišení systému je až 1200 px na obal a tím je dosaženo optimalizace kontrastu a poté je snazší vyhledat chyby v materiálu a to i v těch, které jsou velmi málo kontrastní. Systém je nastavován automaticky a je celý řízen počítačem, což umožňuje rychlejší změny během pracovního procesu, ale i možnost častěji měnit celé nastavení. Počítačem je také řízeno nastavení intenzity a polohy světelných zdrojů a je tedy možné okamžité nastavení stroje na příslušný prvek a jeho tvar, barvu a velikost. Systém je schopen pracovat velmi rychle a rychlost procesu je tedy omezena pouze tím, aby kontrolované prvky neztrácely stabilitu, což se stává při rychlejším pohybu dopravníku. [5]

1.1.2 **Systém EVOLUTION 5**

EVOLUTION 5 je stroj s pěti stanicemi, který je navržený tak, aby byl schopen kontrolovat prvek bez ohledu na jeho povrch, barvu nebo tvar. Stejně jako systém EVOLUTION 12 je charakteristický svými variabilními světelnými zdroji pro různé typy kontrol. Systém je řízen počítačem a to opět zaručuje velmi rychlou práci,

rychlejší přenastavování a snižuje vliv lidského faktoru. Všechna data a optické nastavení jsou uložena v PC a je možné přenášet je i se vzdáleným přístupem a nepřetržitě mít nad strojem kontrolu, či provádět aktualizace i ze vzdáleného technického centra.

1.2 Kontrola plochého skla

1.2.1 Corrugation Test

Test se provádí v uzavřené místnosti, izolované (především světelně) od okolního provozu. Test je založen na odrazu světla na vzorcích ze 4m vzdálené šikmo pruhované desky, což je matovaná skleněná tabule o rozměru 2 x 1m s černými pruhy o šíři 25mm pod úhlem 45 °. Pozorovatel je od stolu se vzorky vzdálen další 4m a subjektivně porovnává kvalitu vzorků s etalony. Vzorky se řadí do stupňů jakosti od 1 do 3,5. Podle pracovních etalonů se ohodnotí celá šíře pásu. V současné době je již test objektivován pomocí digitálního fotoaparátu, umístěného v pozici pozorovatele, snímky jsou pak hodnoceny pomocí několika metod (statistické nástroje, odhad fraktální dimenze pomocí obvodové metody, kdy výsledkem je tzv. obvodová dimenze a délky křivek). Výsledná třída jakosti byla dána operátorem, tedy subjektivním posouzením míry pravidelnosti a složitosti. K tomu, aby bylo možno objektivní výsledky přiblížit současné škále jakosti, byly vypočtené parametry ze stovek měření přepočteny pomocí váhových koeficientů. To umožnilo zachovat původní vnitřní normu, rozdělující zvlnění do tříd jakosti [3].

1.2.2 Kontrola optické deformace v kraji skla

Pomocí této zkoušky se provádí kontrola levého a pravého kraje pásu skla. Zkouška vychází z principu corrugation testu a hodnotí se vždy společně s testem corrugation. Vzorek se umístí do rámu tak, aby osa směru výroby skla byla svislá. Vedle zkušební vzorku se do rámu umístí porovnávací vzorek (pracovní etalon) a rameno zebry se nastaví na úhel v rozmezí 5 – 10°. Pozorovatel stojí ve vzdálenosti cca 2m od držáku zebry (v ose měření – zebra deska – rameno zebry) a porovnáváním vzorku s pracovním etalonem ohodnotí optickou deformaci v kraji. Výsledek porovnávání – vyhovující/nevyhovující, přiřadí se stupeň zvlnění dle pracovních etalonů – hodnota se zapíše do knihy kvalit. [2] V současné době je tento test integrován do software pro objektivní hodnocení corrugarion testu.

1.2.3 Zkouška stříbřením – mirror test

Tato metoda definuje kritéria, která musí splňovat ploché sklo, určené pro výrobu zrcadel. Metoda je platná pro vyráběné tloušťky 2,1 – 8,0mm.

Zařízení: automatický diaprojektor pro diapozitivy 5 x 5cm, o výkonu 24V/250W, s pohyblivým (zoomovým) objektivem 1:2, 8f = 90mm, držák vzorků, bílá projekční tabule, digitální posuvné měřítko. Měří se postříbřený vzorek o velikosti 500 x 500mm, který se umísťuje do držáku. Projektor je umístěn ve vzdálenosti 5m a v úhlu 45° k měřenému vzorku. Projekční tabule se nachází ve vzdálenosti 5m od středu zrcadla v pravém úhlu k odraženému paprsku. Rastr promítaný na promítací plátno má tmavé a světlé pruhy o šířce 50mm. Šíře pruhů se měří posuvným digitálním měřítkem. Měření vždy vychází z nulové pozice. Výchozí pozice se nastavuje pomocí zrcadla, které nejeví známky optické deformace. Vyhodnocení je založeno na měření rozdílu šířky každého odraženého pruhu, nebo tří sousedních pruhů. Naměřené rozdíly musí být v mezích:

- pro jeden pruh platí limit 40-60mm
- pro tři pruhy platí limit 135-165mm

Pro okrajovou zónu o šíři 150mm, která může být ovlivněna tvarovacím procesem, platí:

Tloušťka skla < 4mm

- pro jeden pruh limit 20-80mm,
- pro tři pruhy limit 11-190mm.

Tloušťka skla \geq 4mm

- pro jeden pruh limit 30-70mm,
- pro tři pruhy limit 120-180mm.

1.2.4 Užití laserového paprsku

Princip metody spočívá ve využití laserového paprsku dopadajícího na vzorek pod předem stanoveným úhlem. Odražený paprsek se následně zobrazuje na promítací plochu. Obraz na promítací ploše zobrazuje dvě čáry s rozdílnou intenzitou jasu, přičemž jasnější čára určuje horní plochu skla. Druhá čára odpovídá ploše spodní. Kdybychom vybrali vzorek s dokonalou rovinností a paralelními plochami, odražené čáry by byly přímé a rovnoběžné.

Tato metoda již směřuje k částečné objektivizaci měření optické kvality skla, ale dosud není vyřešeno uchovávání naměřených výsledků a jejich objektivní hodnocení, takže metoda je opět z části založena na subjektivním posouzení pracovníka kvality a nemá objektivní výstup.

1.2.5 Užití 3D maket

Pro kontrolu prohnutí ohýbaných přířezů skla je ve výrobě autoskel používáno 3D maket [1]. Jedná se o měření, které je jednou z koncových operací linky na výrobu autoskel. Měření ohybu autoskel je prováděno tak, že se kontrolované sklo položí na maketu, která je v kontrolních bodech osazena dotykovými sondami (tzv. tester). Usazení skla se provádí často ručně tak, že se sklo pouze položí na tester, který je zpočátku vždy ve vodorovné poloze a usadí se do správné polohy opřením o patky, které jsou po obvodu testeru. Jsou to ocelové zarážky, kterými jsou makety osazeny již od jejich výroby, a jejich umístění si diktuje zákazník. Zaznamenání přítomnosti skla na testeru, aby nedošlo k měření naprázdno, obstarává optické čidlo.

Po usazení skla na tester, probíhá vlastní měření dvěma možnými způsoby:

1. Měření pod nulovým úhlem
2. Měření pod určitým úhlem

Způsob, kterým se provádí měření, si určuje zákazník a často je požadováno, aby úhel měření byl shodný s úhlem, pod kterým bude sklo zasklené v automobilu. Pak tedy změří sondy dotykem ohyb a výsledné hodnoty se zobrazí na obrazovce, která je součástí celého měřicího zařízení. Je tedy možné okamžitě se podívat na všechny hodnoty ohybu. To, zda sklo vyhovuje, či nikoliv, vyhodnocuje často počítačem řízený systém, nebo PLC (např. **MicroSample 2002 SQL**) a obsluha zakládající sklo se řídí pouze světlem, které se na ukazateli před ním rozsvítí (zelená - vyhovuje, červená – nevyhovuje). Poté, co se sklo proměří a vyhodnotí se pozitivně či negativně, je odejmuto. V současné době se začínají objevovat stroje pro automatizované zakládání a odebírání testovaných výrobků do testeru. V takových případech je testovaný díl z dopravníku vykládán manipulátorem do testeru. Vyhovuje – li, je dopravníkem naveden do zásobníků (nebo na dopravník) a dále upravováno dolepováním potřebných dílů apod. Nevyhovuje – li, je dalším manipulátorem odejmuto z dopravníku a vhozeno do kontejneru se střepy a vadnými skly.

Kontrolní body jsou body, ve kterých je kontrolován ohyb skla. Tyto body si většinou předepisuje zákazník, tedy automobilka a výrobce skla musí jejich polohu respektovat. Požadavky zákazníka a všechny vlastnosti skla od hodnot ohybů až po hmotnosti, jsou zaneseny v technických listech, kterými se řídí průběh celého měření. Provedení testovacích zařízení pro měření průhybu skla je rozdílné. Jedním z příkladů může být zařízení uvedené v [1], kde pro uložení testerů je základem deska z lehké dřevotřísky, která je lemována hliníkovými lištami. Na desce je umístěn rám svařený z uzavřených profilů, který slouží k rozvodu vzduchu do sond a je k desce přišroubován. Uprostřed rámu je na silonových podložkách uchycen tester. Na desce jsou také umístěny zesilovače, do kterých je přiváděn signál ze snímačů. Takto tvořená sestava je vždy pohromadě a je s ní manipulováno pouze v sestaveném stavu. Celá sestava je připevněna k pohyblivému stolu pomocí šroubů a pomocí dvou středících čepů.

Způsob měření na zmíněném zařízení umožňuje dosáhnout kadenci až 12 ks.min^{-1} , což znamená, že každých 5s se položí na tester nové sklo. V současné době se s touto kadcí neměří velmi často, je ovšem teoreticky splnitelná. Na testerech jsou používány tzv. LVDT sondy (Lineárně Proměnný Diferenční Měnič). Měřicí sondy, které se používají v současné době, se nazývají *Induktivní snímače na měření*.

Tyto sondy umožňují měření s přesností $1 \mu\text{m}$. Cena jedné sondy je 10.770,- Kč. Životnost sondy nelze vyjádřit časovým údajem. Při maximální kadcí však sonda vyjede 12x za minutu. Při takovéto opakovatelnosti, dochází k poměrně značnému a rychlému mechanickému opotřebení sond. Nejvyšší počet sond na jednom testeru je v dnešní době 65 sond, což při ceně jedné sondy znamená značné náklady.

Celé měření je založeno na maketách. Jejich přesnost výroby, způsob uložení na měřicím zařízení a jejich materiál jsou spolu s kvalitou sond rozhodujícími faktory na přesnost měření. Makety jsou vyráběny na zakázku.

Častým problémem vznikajícím při dotykovém měření je to, že vlivem značného silového působení sondy, dochází k odtlačování měřeného skla od testeru a tím vznikají chyby v měření. Sklo je odtlačováno při vysunutí sond, ovšem ne vždy a každé sklo.

Současné nedostatky jsou způsobeny několika faktory, které lze shrnout do následujících bodů:

- Technické parametry snímače (síla vyvozovaná na měřený objekt, způsobená nutným překonáním vratné síly pružiny uvnitř snímače).
- Změny frikčních poměrů uvnitř snímače, způsobené opotřebením a následným zvyšováním tlaku ovládacího vzduchu.
- Nepřiměřený přídavek tlaku a nešetrné počínání obsluhy při měření. (Obsluha tlak reguluje nastavením redukčního ventilu dle svého uvážení.)
- Paralelní zapojení snímačů v jednom okruhu. Tento způsob znamená napájení všech snímačů vzduchem o stejném tlaku, takže i snímače nové jsou přetěžovány přídavkem tlaku nutným k funkci snímačů starších.
- Neopomenutelným faktorem je jistě i fakt, že vzduch napájející snímače není jakkoliv upraven filtrací, či sušením.

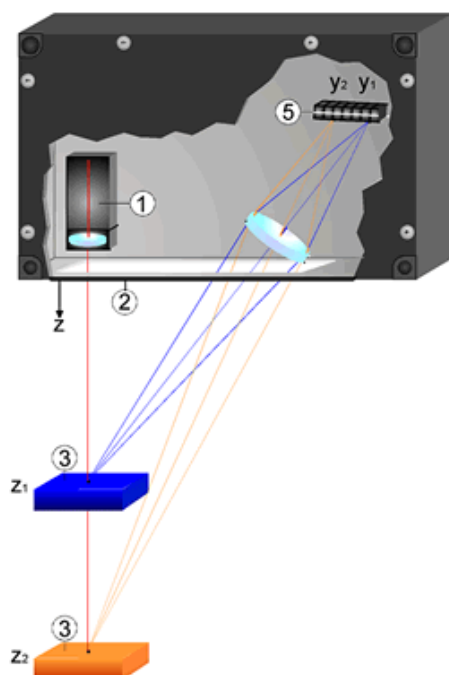
1.3 ISRA

Metoda od firmy ISRA je nekontaktní, rychlá, přesná, je možné její užití bez nutnosti manipulace s testovaným prvkem a nevyužívá laseru. Její velkou nevýhodou je však vysoká cena. Systém FORMSCAN je plně automatický a vhodný pro měření tvaru zakřivené skleněné desky. S pomocí odrazu světla systém dokáže změřit plochy čirého nebo barevného skla. Systém využívá v reálném čase okolo 1.000.000 měřicích bodů na metr čtverečný a po zpracování dat určuje odchylku od normy. Díky využití špičkových technologií je tento systém schopen měřit skla všech rozměrů. [7]

1.4 Nokra

Firma Nokra využívá metody laserové triangulace (obr. 1) - díky níž, je vzdálenost mezi objektem (3) a referenční rovinou (2) určena bezkontaktní metodou. Podobně jako dotykové čidlo, triangulační senzor je schopen měřit v jednorozměrné relaci. Laserový paprsek je zaměřen na cíl a laserové světlo je rozptýleno na povrchu v místě interakce.

Čočka, která je umístěna v určeném úhlu vůči směru laserového paprsku, nasměruje světlo na detektor (5). Z pozice světelného bodu na detektoru (y_1 a y_2), je možné vypočítat vzdálenost od objektu (Z_1 a Z_2).



Obr. 1 *Metoda laserové triangulace*

Tento princip měření může být modifikován na dvourozměrný, změnou laserového paprsku na linku, která se promítá na součást. [6]

1.5 Mapvision

Na začátku je pro on-line řízení procesu sklo převedeno na měřicí stanici, referenční číslo skla se převede do měřicího systému a systém zjistí aktuální umístění skla. Pomocí kamer jsou poté nasnímány požadované obrazy skla a je z nich vypočítána skutečná 3-D pozice skla. Světelné UV body jsou přesunuty na cílová místa pro kamerové měření. Díky tomu není potřeba mechanické ustavovací zařízení. Ve výsledku kamery měří určený počet 3-D bodů. Systém je po počáteční kalibraci bezobslužný a další kalibrace jsou prováděny automaticky. Mezi další výhody tohoto systému patří rychlost měření, možnost měření online a přesnost. [8]

2 Zpracování obrazu a specifika snímání transparentního materiálu

K dosažení potřebné kvality snímání a tedy následně i vyhodnocení je nutné splnit mnoho podmínek, které se navzájem ovlivňují. Specifickými požadavky pro aplikaci ve sklářském průmyslu jsou především tyto (obr. 2):

- a) osvětlení musí být vhodné pro snímání daného materiálu, v některých případech je nutné zvolit správnou kombinaci několika typů osvětlení;
- b) pozice sledovaného objektu musí být přizpůsobena osvětlení, anebo osvětlení musí být přizpůsobeno poloze objektu;
- c) adaptéry čoček mohou být použity místo (nebo spolu) s osvětlením pro lepší zobrazení objektu (adaptér polarizovaného osvětlení, souosé kolmé osvětlení, adaptér difúzního osvětlení);
- d) filtry mohou být užity pro separaci určité vlnové délky ze snímané scény;
- e) optika (objektiv);
- f) snímací prvek – čip včetně potřebné elektroniky (kamera) zvolený podle typu sledovaného objektu a jeho pohybu (lineární nebo plošná kamera) a požadovaného rozlišení, snímacím prvkem může být i digitální fotoaparát;
- g) přenos dat do zařízení pro zpracování obrazu (kabely, A/D převodník)
- h) interface podle typu zvolené kamery (IEEE 1394, camera link, channel link, GigE vision,...);
- i) acquisition software (software pro získávání snímků z kamery);
- j) softwarové filtry, které mohou nahrazovat nebo doplňovat filtry fyzické na kameře a jsou důležité především pro následné zpracování obrazu;
- k) obrazová analýza, která musí být spolehlivá, výsledky musí být získány včas a ve vhodné formě;
- l) výběr potřebných výsledků;
- m) přenos dat do hlavní vyhodnocovací jednotky a (nebo) řídicí jednotky (rozšířená o zpětné vazby na akční členy).

Kroky *h* až *j* jsou prováděny ve vyhodnocovací jednotce, což může být klasický počítač, ale i kompaktní a odolný systém uzpůsobený pro průmyslové aplikace. Jedná se o počítač, optimalizovaný pro zpracování obrazu s minimalizací mechanických prvků, které limitují významně užití klasických počítačů v průmyslové praxi.

Je samozřejmě možné provést i další rozdělení jednotlivých prvků systému a rozšířit je o jejich další důležité informace, jako je např. typ senzoru kamery. V současné době jsou to dva typy základních snímačů (senzorů) CCD a CMOS.



Obr. 2 Schéma systému pro obrazovou analýzu

Při volbě standardní kamery je důležité přesně vědět, co je třeba snímat za technologickou scénu, jak ji snímat, znát hraniční podmínky kladené na kameru, respektovat cíle snímání a cíle následného vyhodnocení obrazovou analýzou. Mezi základní charakteristiky kamer s plošným senzorem patří: typ snímače, velikost snímače, rozlišení snímače, frekvence snímání, rozsah spektra, barevná škála, rozsah expozičních časů, interface, formát výstupních dat, možnosti řízení kamery (vstup), závit objektivu, způsob upevnění kamery, napájení, odolnost vůči okolním vlivům (krytí, odolnost proti vibracím, odolnost proti mechanickému namáhání, rozsah teplot a vlhkosti okolí kamery při provozu) a další jako výrobce kamery a senzoru. [9]

3 Teorie snímání skla pod velkým úhlem dopadu

Základním problémem výrobků ze skla je jejich transparence a reflexe. Cílem výzkumu bylo využít reflexe pro identifikaci polohy výrobků ze skla. Důležitým parametrem je tak intenzita odraženého světla od povrchu skla, která se mění s úhlem dopadu a lze ji odvodit z obecných rovnic a zákonů optiky. Cílem je sledovat objekty pod úhlem, zajistit tak větší odraz světla a získaný obraz přepočíst na základě omezeného množství informací o poloze objektu.

3.1 Odraz světelného paprsku

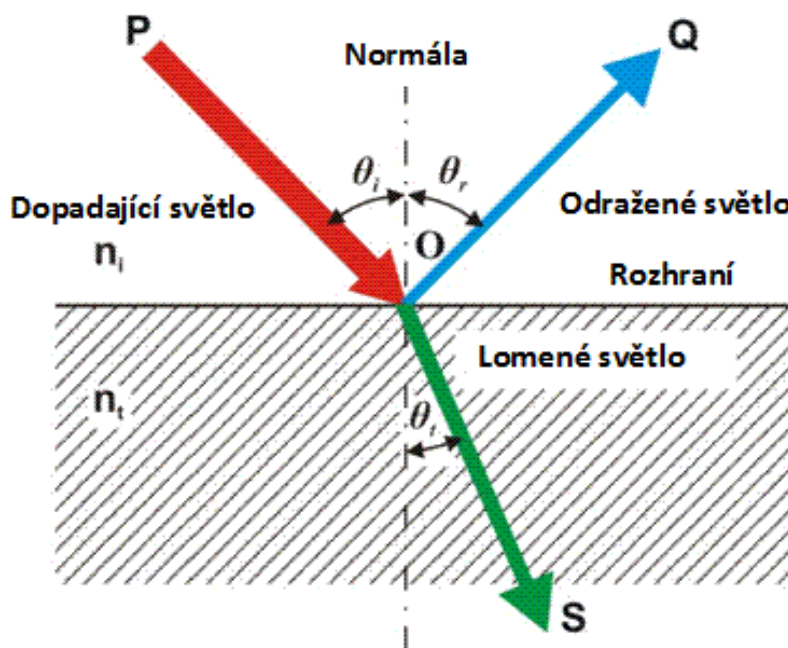
Když světlo přechází z prostředí s indexem lomu n_i (vzduch) do jiného prostředí s indexem lomu n_t (sklo), část paprsku se odrazí a část se lomí a projde skrz materiál. Na obrázku vidíme dopadající paprsek PO, který v bodě O, dopadá na rozhraní dvou prostředí. Poté se rozdělí na odraženou část OQ a část která se lomí OS. Na obrázku jsou také vyznačeny tři úhly, θ_i úhel dopadu, θ_r úhel odrazu a θ_t úhel lomu.

Vztah mezi nimi je dán zákonem odrazu (obr. 3):

$$\theta_i = \theta_r \quad (1)$$

a Snellovým zákonem:

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{n_t}{n_i} \quad (2)$$



Obr. 3 Schéma zákona odrazu a lomu

Množství světla, které se odrazí, je dáno rovnicí:

$$R = \left(\frac{n_t - n_i}{n_t + n_i} \right)^2 \quad (3)$$

Pro běžné sklo ve vzduchu platí, $n_i = 1$ a $n_t = 1,5$. Pak je odraženo okolo 4 % světla. Světlo se ovšem odráží jak od přední tak i od zadní strany a pak kombinací obou odrazů získáme z rovnice:

$$R_g = \frac{2R}{(1+R)} \quad (4)$$

a pak se dle výpočtu odrazí asi 7,7 % světla. Nicméně i tak je odraz pro detekci nedostatečný a musí být použito osvětlení pod velkým úhlem dopadu.

Výpočet R (odrazivosti) a T (propustnosti) záleží na polarizaci paprsku. Po zjednodušení Fresnelových rovnic je rovnice pro polarizované světlo kolmé na rovinu obrázku (obr. 3, 4):

$$R_{\perp} = \left(\frac{n_i \cos(\theta_i) - n_t \cos(\theta_t)}{n_i \cos(\theta_i) + n_t \cos(\theta_t)} \right)^2 \quad (5)$$

a v případě, že je polarizované světlo v rovině obrázku (obr. 3, 4):

$$R_{\parallel} = \left(\frac{n_t \cos(\theta_i) - n_i \cos(\theta_t)}{n_i \cos(\theta_i) + n_t \cos(\theta_t)} \right)^2 \quad (6)$$

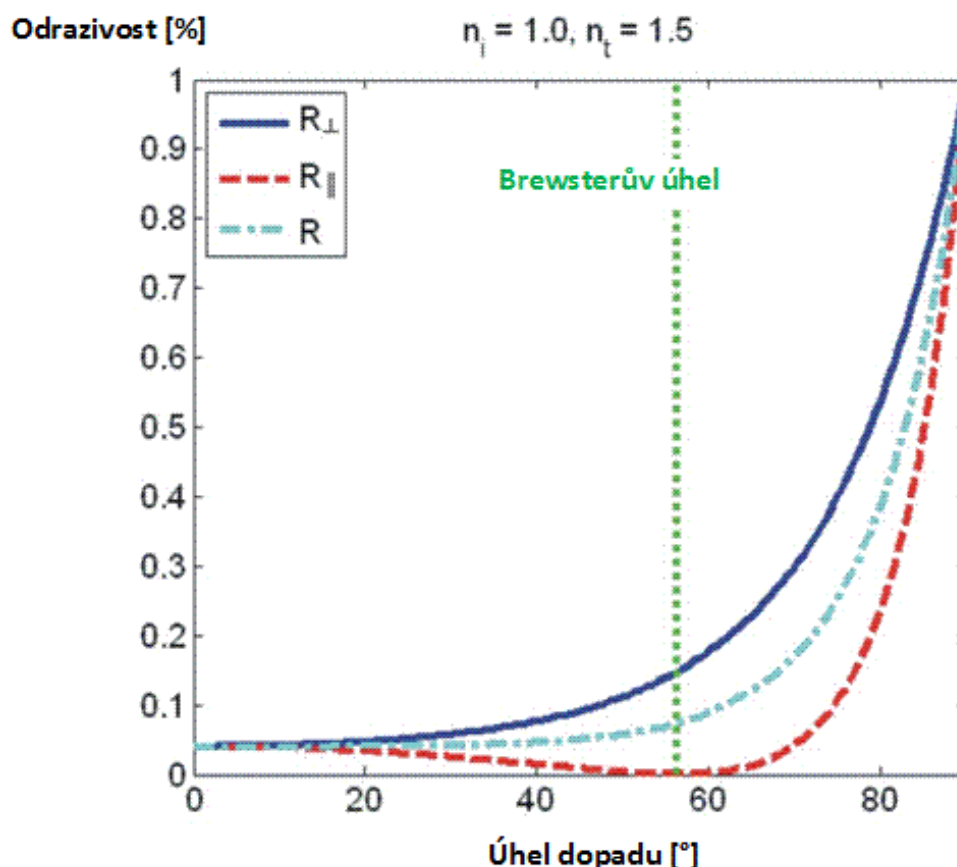
s použitím Snellova zákona:

$$\theta_t = \sin^{-1} \left[\left(\frac{n_i}{n_t} \right) \sin \theta_i \right] \quad (7)$$

R_{\perp} a R_{\parallel} jsou kompletně odvozeny z θ_i . V případě, že je světlo nepolarizované:

$$R = \frac{(R_{\perp} + R_{\parallel})}{2} \quad (8)$$

Závislost odrazivosti na úhlu dopadu znázorňuje následující obrázek (obr. 4):



Obr. 4 Závislost odrazivosti na úhlu dopadu a polarizaci světla

Na základě zákona o zachování energie je propustnost vypočtena z rovnice:

$$T = 1 - R \quad (9)$$

$$T_{\perp} = 1 - R_{\perp} \quad (10)$$

$$T_{\parallel} = 1 - R_{\parallel} \quad (11)$$

Graf ukazuje, že světlo se od skla nejlépe odráží při velkých úhlech dopadu ($\theta_i \geq 70^\circ$ pro R a R_{\perp}). Odrazivost závisí také na polarizaci světla. Je vyšší, pokud je elektrické pole světla kolmé. V případě, že je dopadající světlo polarizováno v rovině (paralelně), odrazivost R_{\parallel} klesá do Brewsterova úhlu, pokud světlo dokonale prochází skrz povrch. Pak odrazivost roste. Brewsterův úhel je definován takto:

$$\theta_B = \tan^{-1} \left(\frac{n_t}{n_i} \right) \quad (12)$$

A pro rovinu povrchu skla je: $\theta_{Bg} = 56,31^\circ$.

Při reálném měření je odrazový koeficient R_g důležitý, protože odraz u plochého skla je jak od přední tak i od zadní strany. S použitím rovnice (4) můžeme získat graf pro nepolarizované světlo.

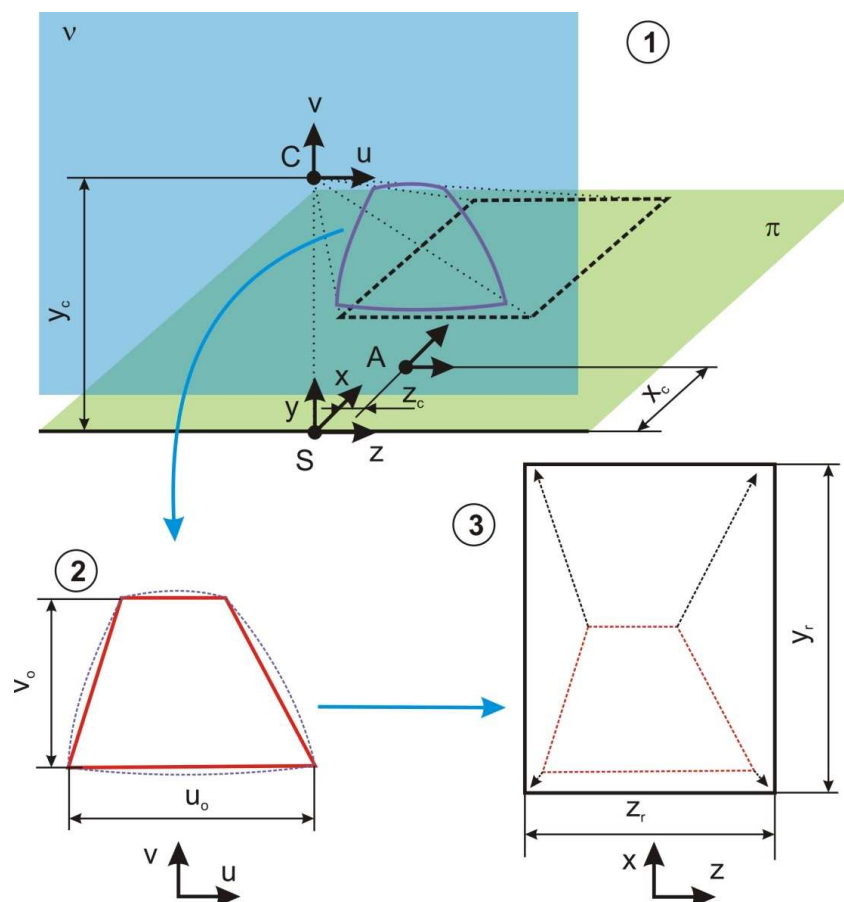
3.2 Detekce tvarů plochého skla

Odraz pod velkým úhlem dopadu může být použit pro detekci objektů na černém, neodrážejícím a matném podkladu. Úhel dopadu by měl být vybrán s ohledem na graf pro nepolarizované světlo. Odrazivost se nijak dramaticky nemění do úhlu 40° . Pro úhel $58,7^\circ$ je dvojnásobná a pro úhel $66,2^\circ$ je trojnásobná. Z toho vyplývá, že je možné využít velké odrazivosti, pokud světlo dopadá pod velkým úhlem pro detekci skla. Úhel však musí být minimálně 60° . Odrazivost můžeme zvýšit, pokud použijeme polarizované světlo.

Detekce se dá shrnout do 3 bodů:

- zachycením objektu pod velkým úhlem dopadu pomocí běžných CCD nebo CMOS kamer a běžných čoček získáme obrys objektu
- přepočítání zaznamenaného objektu včetně zkreslení a jiných optických vad
- rekonstrukce zaznamenaného tvaru včetně perspektivy

Všechny 3 body jsou zobrazeny na následujícím obrázku (obr. 5):

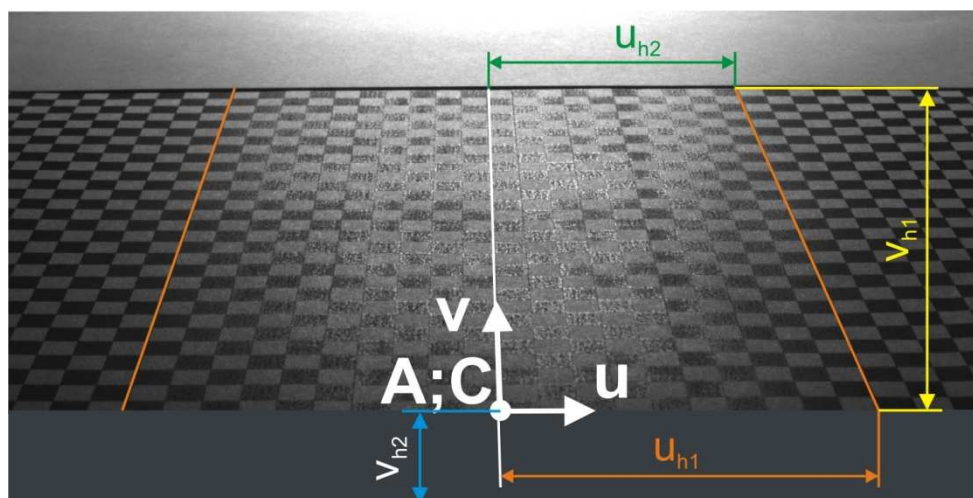


Obr. 5 Detekce tvarů plochého skla pomocí odrazu

Před začátkem detekce je třeba udělat přednastavení. Přednastavení je měření pravítkem (ethalonem), čímž je určen vztah (měřítko) mezi snímacím prostorem (v milimetrech) a obrazem (v pixelech). Pozice kamery (ohnisko čočky, x_c , y_c) a osy počátku (A: x_c , z_c) musí být také nadefinovány.

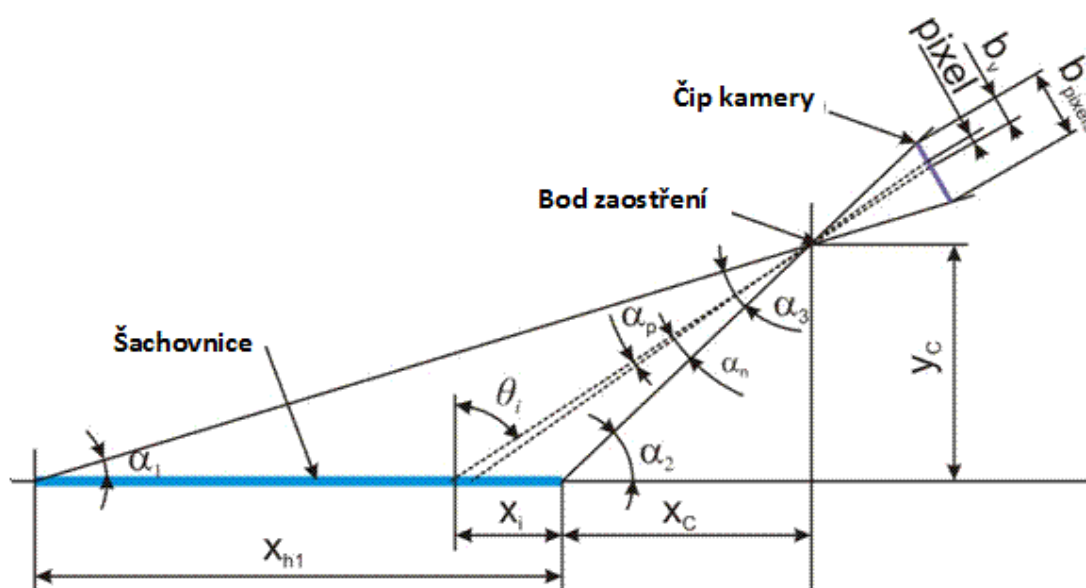
3.3 Experiment

K experimentu byly použity jednoduché tvary: kruh (průměr 61mm) a obdélník (50x40 mm). Pro kalibraci byla použita šachovnice (obr. 6) s čtverečky 5x5mm a byly definovány základní vztahy pro převod.



Obr. 6 Šachovnice obrázek jako etalon pro stanovení měřítka

Pozice kamery a osy počátku (obr. 7) byly změřeny jak je vidět na následujícím obrázku:



Obr. 7 Pozice kamery a os počátku

Funkce pro převod z měření v pixelech (osy u , v) do reálného měření v milimetrech (osy x , z) byla odvozena:

$$x_i = \frac{y_c}{\tan(\alpha_2 - (v_i \alpha_p))} - x_c \quad (13)$$

Kde x_i je reálná poloha bodu v ose x měřená v milimetrech (osa začíná v bodě A), v_i je poloha bodu v ose v měřená v pixelech (osa začíná v bodě C, $A \equiv C$), y_c a x_c jsou známy, α_p lze snadno určit,

$$\alpha_p = \frac{\alpha_3}{v_{h1}} \quad (14)$$

a

$$\alpha_3 = \alpha_2 - \alpha_1 \quad (15)$$

Pro osu z , lze stanovit rovnici:

$$z_i = \left(\frac{u_i v_i}{h - v_i} + u_i \right) \frac{z_{h1}}{u_{h1}} \quad (16)$$

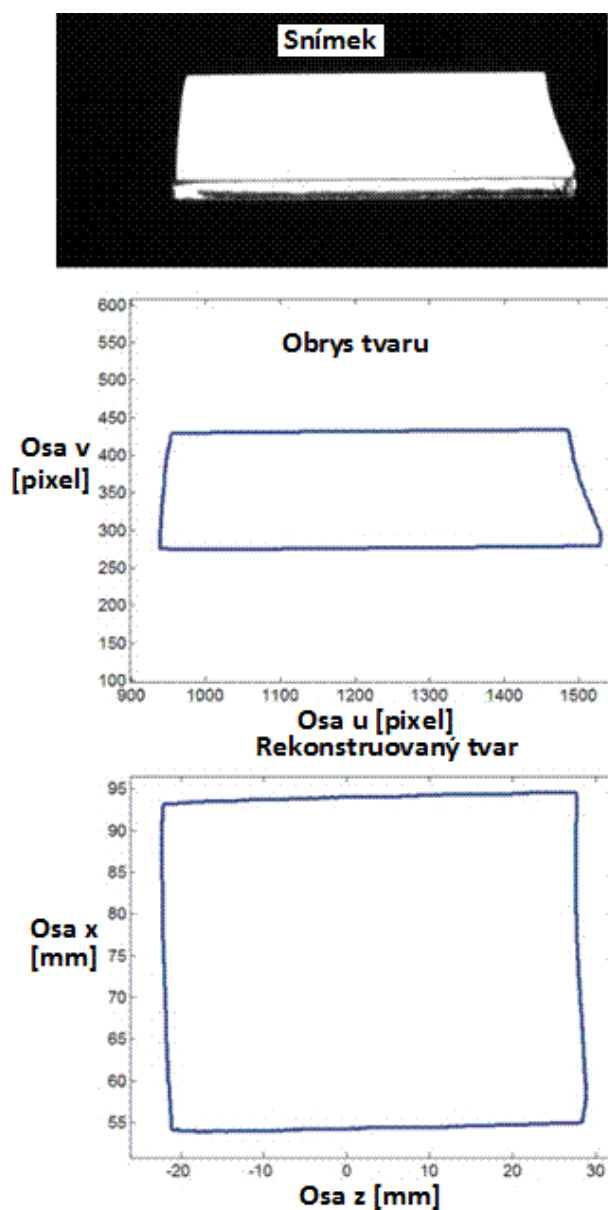
Kde z_i je skutečná poloha měřeného bodu v ose z v milimetrech, u_i poloha bodu v ose u v obraze v pixelech, z_{h1} je délka šachovnice v milimetrech odpovídající délce u_{h1} měřené v pixelech a obě hodnoty jsou známy, horizont je definován

$$h = \frac{u_{h1} v_{h1}}{u_{h1} - u_{h2}} \quad (17)$$

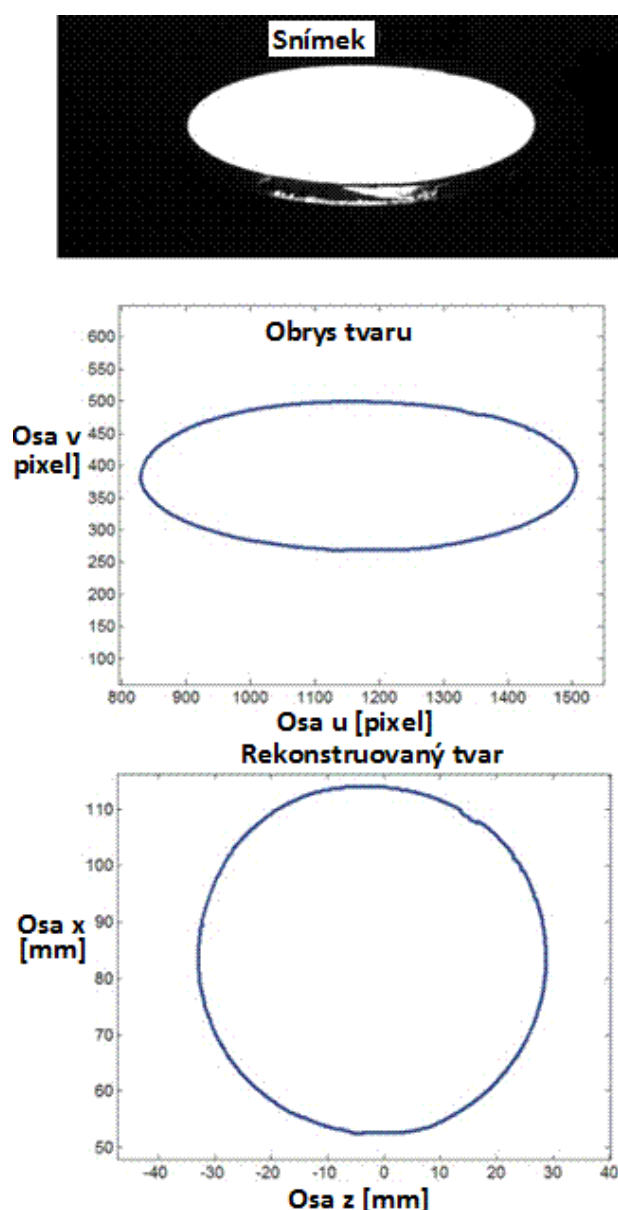
Kde u_{h1} , u_{h2} a v_{h1} jsou získány z měření šachovnice.

3.4 Výsledky experimentu

Z obrázků č. 8 a č. 9 jsou zjevné postupné kroky a výsledky rekonstrukce. [9]



Obr. 8 Rekonstrukce obdélníku



Obr. 9 Rekonstrukce kruhu

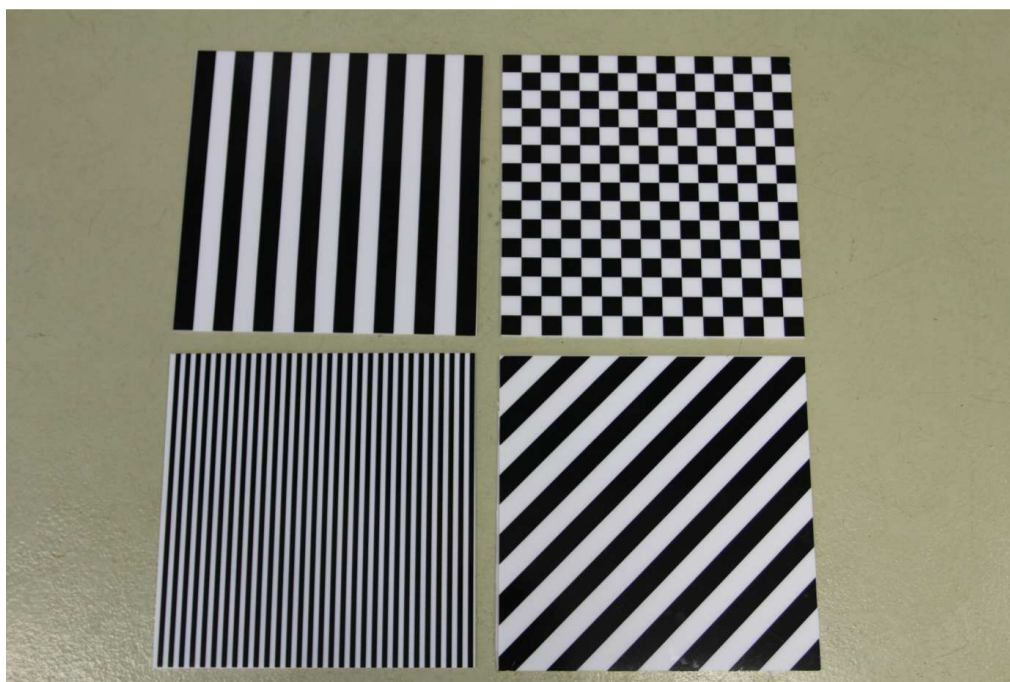
4 Laboratorní měření

Úkolem laboratorního měření je určit nejvhodnější metodu pro detekci ohýbaných přířezů plochého skla. Jsou použity dvě metody, které jsou popsány v následujícím textu. První metoda využívá promítání zebra desky na snímáný objekt a díky deformaci promítané zebry a softwarovým výpočtům je určen výsledný průhyb. Druhá metoda používá pro měření deformace laserového paprsku, který je odražen od snímaného objektu a získaný obraz je poté softwarově vyhodnocen.

4.1 Metoda promítání zebra desky

4.1.1 Příprava experimentu

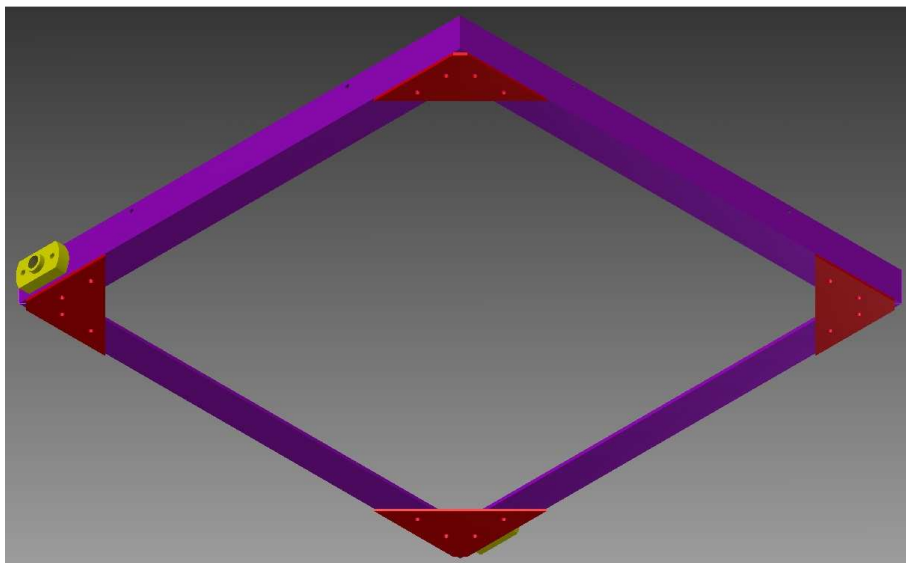
Nutnou podmínkou pro aplikaci této metody je navržení a realizace několika typů zebra desek (obr. 10). Dále je nutné experimentálně vybrat nejvhodnější desku a provést snímání objektu.



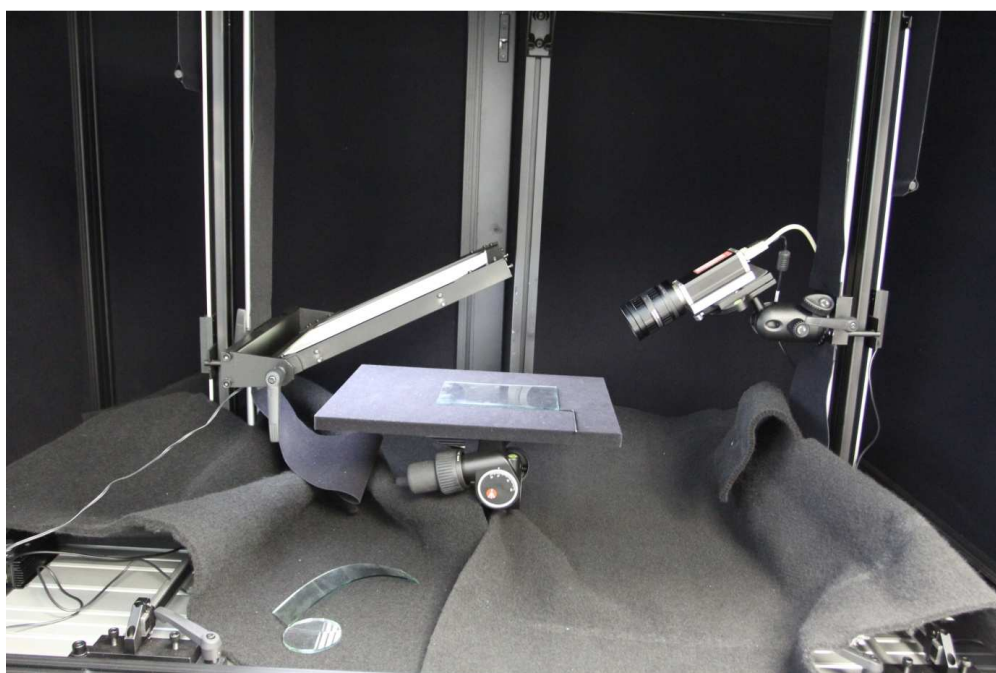
Obr. 10 Různé druhy zebra desek

Pro zahájení měření je také třeba zkonstruovat držák na světelný zdroj (obr. 11), upnout do stínicí komory (obr. 12) kameru a nastavit její vzdálenost od snímaného objektu jak v horizontálním tak ve vertikálním směru, upevnit do stanice zkonstruovaný držák do kterého byl umístěn světelný zdroj zakrytý zebra deskou a nastavit plochu, na kterou se pokládají měřené vzorky. Zvolena je kamera od firmy

Basler, typ piA2400-12gm. Dále je měřicí stanice propojena s počítačem a světelný zdroj je připojen na laboratorní zdroj.



Obr. 11 Konstrukce držáku pro světlo a zebra desku



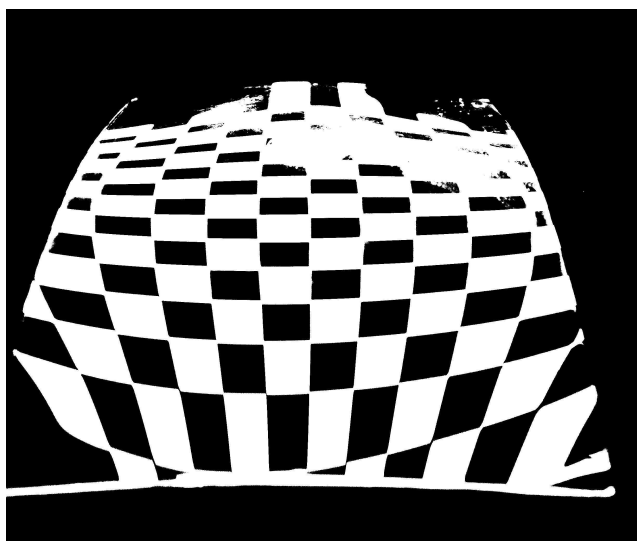
Obr. 12 Měřicí stanice, držák světla, kamera, měřený vzorek

4.1.2 Princip metody

Po zapnutí světelného zdroje je zebra deska přiložená před zdroj a promítne se na zkoumaný skleněný vzorek a vše je zachyceno kamerou, z které je snímek přenesen do počítače a vyhodnocen pomocí speciálního softwaru.

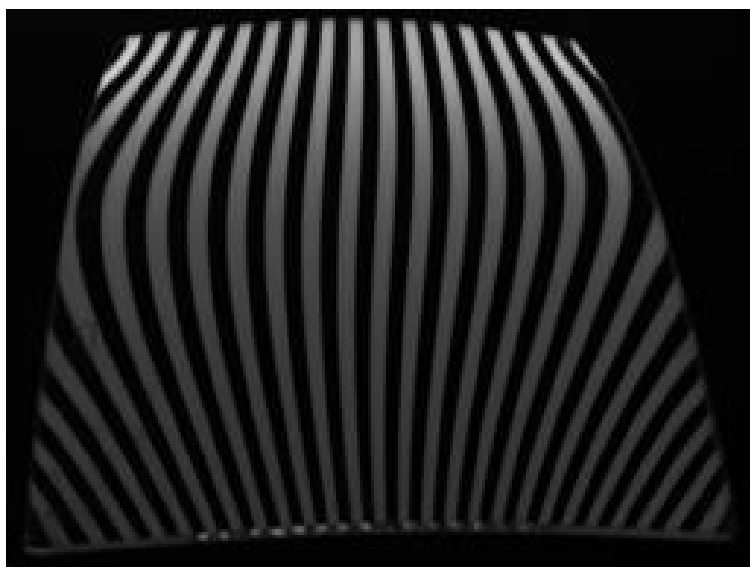
4.1.3 Měření

Při prvním měření je u vzorku s největším prohnutím (obr. 13) zřejmé, že se nepodařila správně nastavit pozice zebra desky a kamery, protože na levém dolním rohu je vidět, že žádné světlo nedopadá a promítaná šachovnice tedy není zobrazena. V pravé horní části je také vidět odraz světla a znehodnocení snímku. Je ale zřejmé, že při přesnějším nastavení by mohlo být pomocí této metody dosaženo uspokojivých výsledků.



Obr. 13 *První měření*

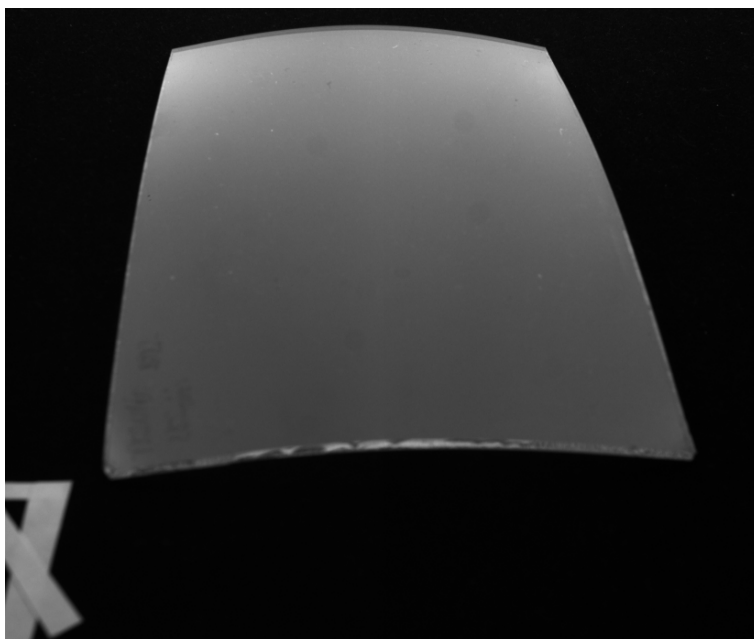
Postupnými pokusy bylo dosaženo toho, že zebra deska je promítnuta na celém povrchu (obr. 14) a snímáný obraz je vhodný k dalšímu softwarovému zpracování.



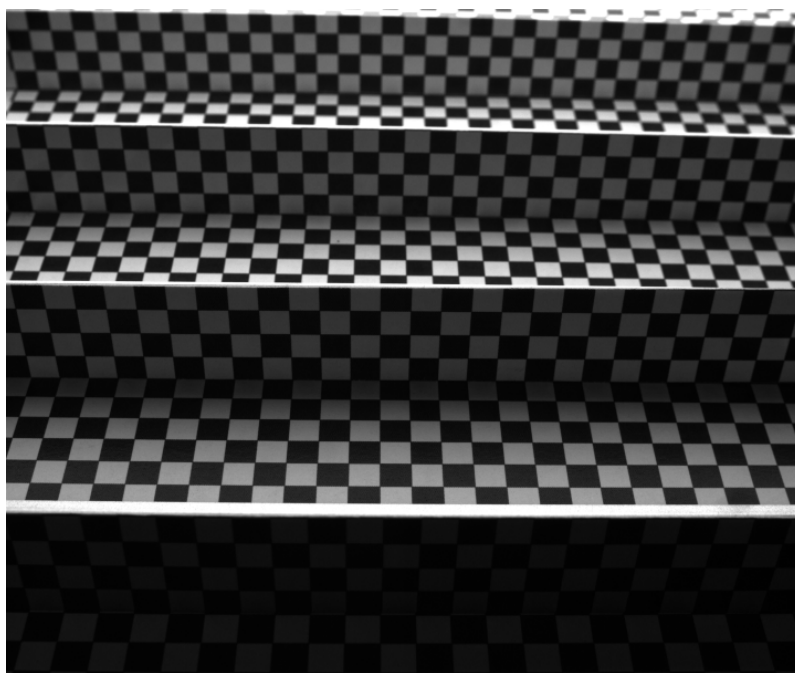
Obr. 14 *Měření s vyhovujícími výsledky*

4.1.4 Zpřesnění výpočtu

Pro zpřesnění výpočtu je pořízen snímek s deskou bez vzoru (obr. 15), aby mohla být vyhodnocena proměnlivá tmavost obrazu a zohledněna při výpočtu. Další snímek, který je pořízen pro zpřesnění vyhodnocovaného obrazu, je šachovnice, na níž jsou vertikální profily (obr. 16). Snímky poslouží ke kalibraci software pro vyhodnocování průhybu.



Obr. 15 Snímek s deskou bez vzoru



Obr. 16 Snímek s vertikálními profily

4.2 Využití laseru

Princip je založen na generaci profilů. Liniový laser je použit pro promítání linie na sledovaný objekt. Profily se získávají pomocí triangulační metody, kdy se měří vzdálenost mezi laserovou čarou, kterou tvoří laserový projektor a kamerou. 3D obraz je poté složen z takto nasnímaných profilů. Objekt nebo kamera se musí pohybovat v jednom směru, tak aby se získal 3D model.

4.2.1 Příprava experimentu

Pro experiment je třeba rozšířit možnosti upnutí kamery a připevnit laser způsobem vhodným k měření.

4.2.2 Princip metody snímání laseru přímo

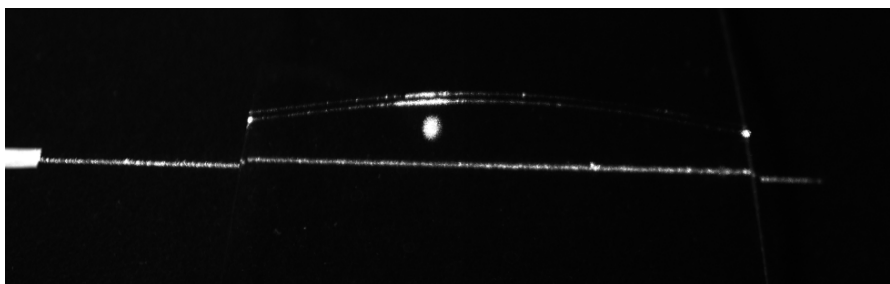
U této metody dopadá paprsek laseru na vzorek skla (obr. 17) a obraz je přímo snímán kamerou a následně vyhodnocován. V praxi by měření probíhalo online a pohyb vzorku je zde simulován jeho postupným posouváním po malých krocích (1 cm). Snahou je nastavit úhel laseru stejně jako úhel kamery, aby dle zákona o odrazu světla bylo snímání co nejlepší.



Obr. 17 Měřicí stanoviště - metoda snímání laseru přímo

4.2.3 Měření metodou snímání laseru přímo

Odražený paprsek laseru (obr. 18) je vzhledem k dopadajícímu světlu méně výrazný a také je obraz rušen odrazem světla, ke kterému dochází pravděpodobně již v infračerveném světle. Odraz tedy není pouhým okem vidět, ale lze ho zaznamenat kamerou, která částečně snímá i v infračerveném spektru (NEAR IR). Zpracování obrazu je velmi obtížné, proto je zahájeno měření druhou metodou.



Obr. 18 Výsledný snímek - metoda snímání laseru přímo

4.2.4 Alternativní princip snímání laseru

Cílem bylo eliminovat nedostatky zjištěné při prvním měření laserem. Bylo provedeno ohledání možnosti použití jiných zobrazovacích principů, které se ukázaly jako vhodné.

Metodika vyhodnocení tohoto odrazu však bude velmi složitá s ohledem na snímání odrazu na promítací desce. To vyžaduje další přepočty, který může být zkreslen i malými změnami v nastavení. Tato metoda proto nebyla uvažována.

4.3 Závěr z měření

Z uvedených metod je jako nejvhodnější vybrána metoda s promítáním zebra desky (úhel pruhů 45° , šířka pruhů 25 mm) a to vzhledem k tomu, že následné zpracování obrazu a zhodnocení výsledku ukázalo, že s její pomocí je možné určit průhyb ohýbaných přířezů plochého skla s menšími nároky na přepočty a zároveň s nejmenší citlivostí na změny v nastavení zařízení.

5 Informace o softwarovém přepočtu dat

Řešení softwarového přepočítávání není součástí bakalářské práce, ale pro přehlednost toho, jak zařízení funguje, uvedu základní informace v této kapitole.

Hodnocení jakosti sledovaných výrobků může být provedeno na základě dvou přístupů:

1. Posouzení odchylek na základě snímání etalonu a srovnáním jeho snímků se snímky měřených výrobků. V tomto případě by bylo třeba pokaždé změně sortimentu provést kalibraci, tedy nafocení „ideálního“ výrobku. Problémem tohoto měření je vliv perspektivy na zjištěné rozdíly. Části blíž ke kameře budou hodnoceny přísněji, zatím co vzdálenější mohou být za hranicí požadavků na přesnost. Výhodou je menší náchylnost systému na malé změny (posunutí výrobku, kamery, osvětlení) a podstatně menší výpočtová náročnost než je v druhém případě.
2. Vytvoření 3D modelu na základě znalosti perspektivy a přepočet rozměrů modelu na milimetry. V prostředí MATLAB je vyvíjen program pro přepočet dat na základě již zmíněných přepočtů v kap. 3.3. Samotný přepočet na model sledovaného objektu ve 3D je ovšem mnohem komplexnější a náročnější. Je zde i relativně vysoká citlivost na změny v systému měření. Přesněji polohy osvětlení sledovaného objektu a kamery jsou kritické pro správný přepočet rozměrů modelu a nesmí se pro dané nastavení výpočtu měnit. Výhodou tohoto přístupu je absence nutnosti použití etalonu při změně výroby.

Samotné vyhodnocení objektu a posouzení jeho jakosti (splnění nebo nesplnění rozměrových tolerancí) může být provedeno podle požadavků provozovatele zařízení. Můžou to být předepsané body, čímž se zrychlí výpočet. Další možností je kompletní 3D model, jehož přesnost je limitována tvarem a rozměry promítaného vzoru na objekt. Software pro systém je nyní navrhován v prostředí Matlab, ale software pro konečné nasazení bude samospustitelný, tedy bez nutnosti použití Matlabu. Doba vyhodnocení je přibližně 3s.

Schopnosti softwaru a především jeho přesnost při přepočtech na reálný 3-D model bude rozhodující pro možné nasazení v průmyslové praxi.

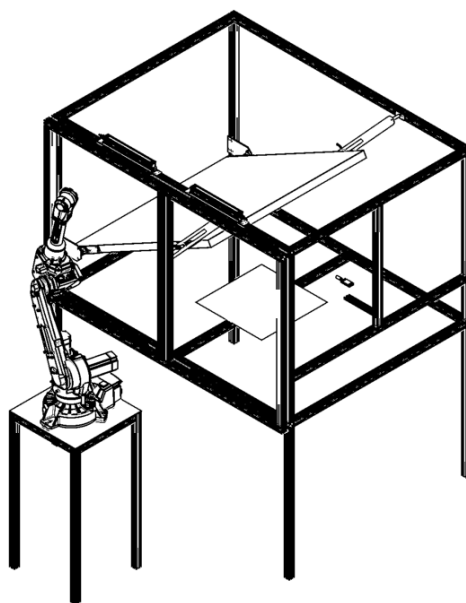
Informace o fungování software byly získány na základě konzultace s vedoucím bakalářské práce.

6 Navržená koncepční řešení

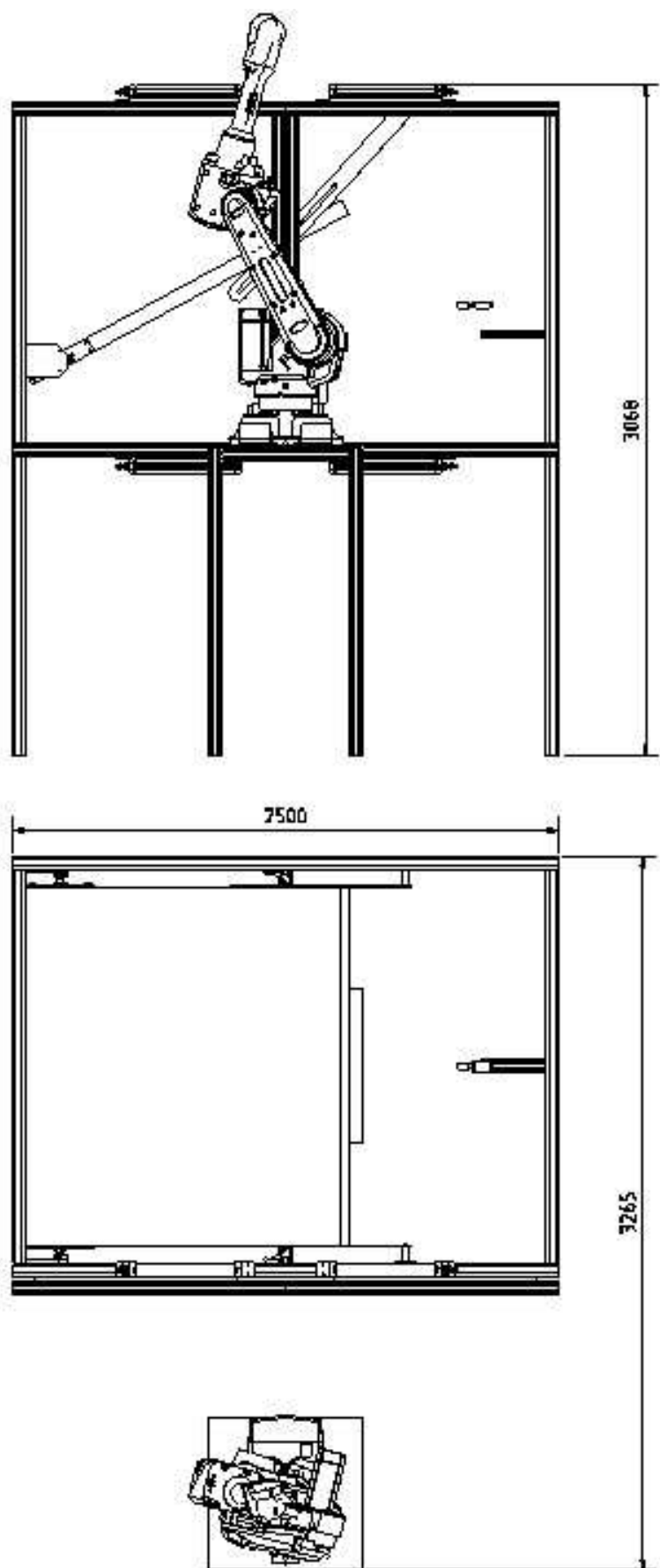
V této kapitole jsou představena dvě koncepční řešení a je popsán výběr vhodnějšího z nich. Po konzultaci s vedoucím práce byly stanoveny maximální rozměry kontrolovaných vzorků skla na 500 x 500mm a maximální výška prohnutí skla po gravitačním tvarování na 100mm. Velikost navrhovaného zařízení není limitována, neboť se předpokládá její zařazení již při návrhu linky. Konstrukční změny navrženého zařízení pro aktuální linku musí být snadno proveditelné a nesmí mít vliv na funkčnost zařízení. Minimální rychlost kontroly se musí vyrovnat současným zařízením na měření pomocí maket a je stanovena na 8s. Snížení tohoto času je žádoucí a vedle ceny a flexibility zařízení by mělo být hlavní výhodou oproti mechanickému měření. Zařízení musí být také dostatečně flexibilní v nastavení světelné desky a kamery.

6.1 Varianta – Robot

Metoda využívá pro umístění testovaného kusu robota (obr. 19, 20). Robot uchopí prvek na konci předchozí linky, kde je nutné, aby byl každý prvek uchopen vždy ve stejném místě, aby nedocházelo k nepřesnostem při vyhodnocování snímků. Robot umístí prvek do boxu pro měření. Je nutné ho položit vždy na stejné, předem určené místo. Box se uzavře pomocí pneumatických motorů a je provedeno snímkování objektu. Následně se box znovu otevře, robot uchopí prvek, přemístí ho a opět vkládá nový prvek do boxu.



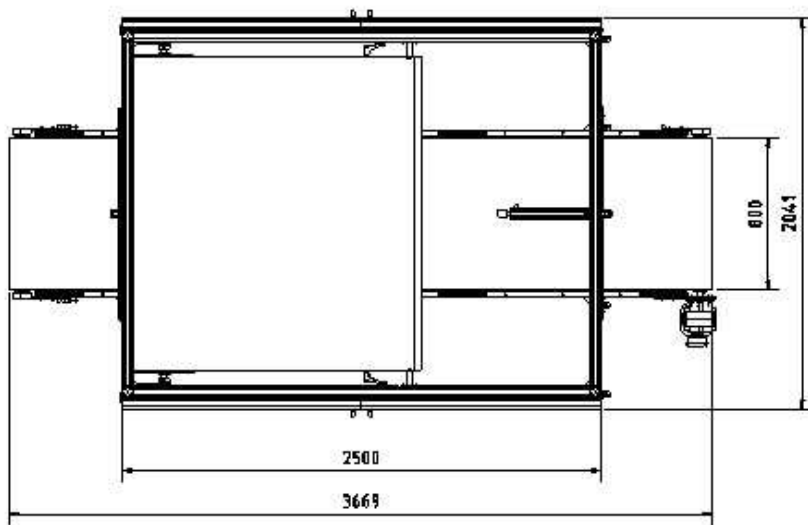
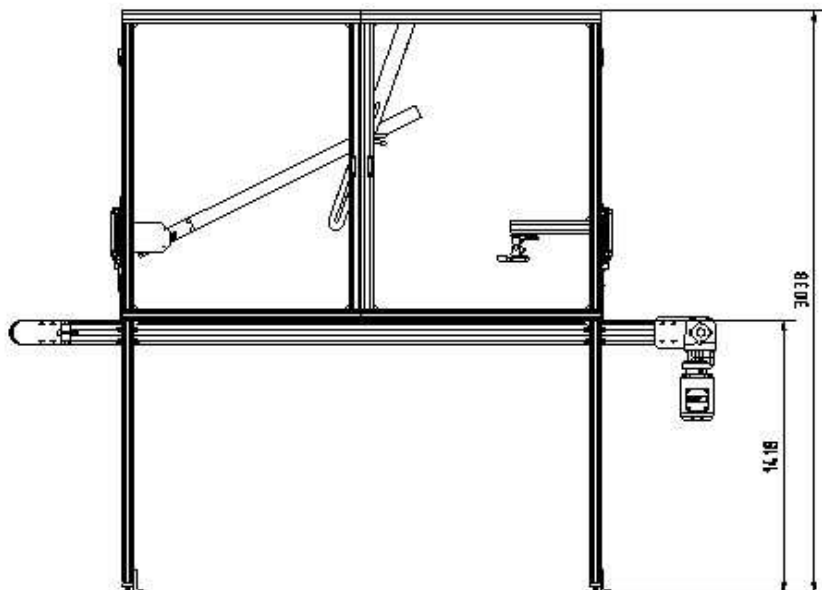
Obr. 19 3D model varianty s použitím robota



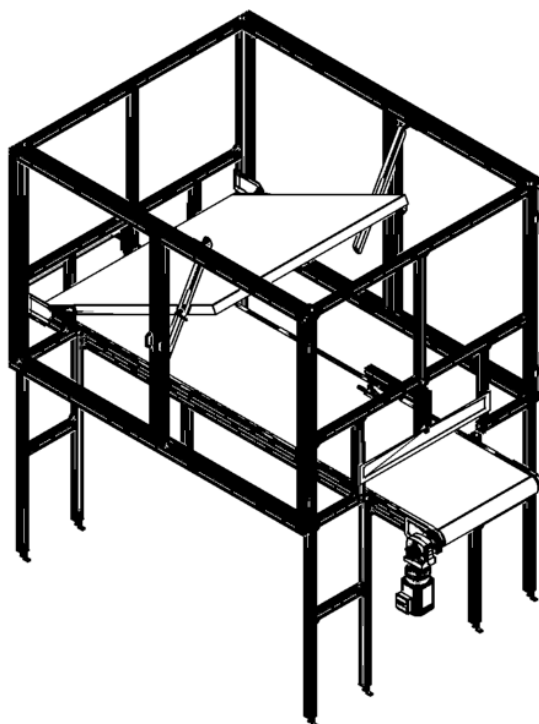
Obr. 20 Nárys a půdorys varianty s robotem

6.2 Varianta – Pás

V této navržené variantě (obr. 21, 22) je testovaný kus dopraven z dopravníkového pásu č. 1, který je součástí linky na druhý dopravníkový pás č. 2, který je součástí zařízení pro kontrolu průhybu. Ve chvíli, kdy je prvek na pásu č. 1, je po něm dopraven do samotného testovacího zařízení. Uvnitř je prvek zastaven v dané poloze, je provedeno snímkování a prvek pokračuje dále po pásu. Na konci pásu je odebrán a pokračuje dále po lince.



Obr. 21 Nárys a půdorys varianty s pásem



Obr. 22 3D model varianty s dopravníkovým pásem

Samotné snímkování zabere jen zlomek vteřiny a následné vyhodnocení přibližně 3s. Vyhodnocení je prováděno v době, kdy sklo pojede z pozice, kde je snímkováno ven z boxu a nevzniká tak větší časová prodleva. Délka zatemněné části je 2,5m, aby tedy byla splněna podmínka celkového času pro kontrolu kratšího než 8s, je možná rychlost pásu nejméně 0,36 m/s. Zvýšením rychlosti pásu je možné regulovat čas kontroly a celý proces tak zefektivnit. Pokud je prvek vyhodnocen a nesplňuje podmínky zadání, je z pásu odebrán po výstupu z boxu.

Jako příklad je uvedena tabulka s časovým plánem při rychlosti pásu $v=1\text{m/s}$.

Tabulka 1 Časový plán pro $v=1\text{m/s}$

Proces	Čas [s]
Nájezd	1,25
Snímkování	1
Odjezd	1,25
Vyhodnocení	3
Vyhodnocení za boxem	$3-1,25=1,75$
Celkem	5,25

6.3 Výběr varianty

Z uvedených koncepčních variant byla pomocí rozhodovací analýzy (tabulka 1) vybrána varianta s použitím pásu. Varianta s pásem vyšla z analýzy jako vhodnější především díky tomu, že rychlost testování může být vyšší a je omezena pouze rychlostí pásu a jeho zastavení v dané poloze, ale u varianty s využitím robota je čas na uchopení a manipulaci delší, protože je nutné skleněné objekty uchopovat opatrně a stejně tak je odkládat. Varianta s robotem je také dražší z důvodu pořizovací ceny robota.

Tabulka 2 Rozhodovací analýza

Párové srovnání kritérií					Matice užitečnosti alternativ					
Poř	Název kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota X		Varianta ROBOT		Varianta PÁS	
					prostá	vážená	prostá	vážená	prostá	vážená
1	rychlost testování	3	1	4	100	400	50	200	90	360
2	investiční náklady	1	3	2	100	200	60	120	100	200
3	nutnost přenastavení	0	4	1	100	100	70	70	80	80
4	zástavbový prostor	2	2	3	100	300	60	180	80	240
Celkem						1000		570		880
Užitečnost v relativním vyjádření						100%		57%		88%
Pořadí alternativ podle užitečnosti								2.		1.

7 Konstrukční řešení vybrané varianty

U zvoleného řešení je třeba vyřešit několik dílčích podproblémů, jejichž popis je uveden v následující kapitole a výrobní výkresy vyráběných dílů jsou ve výkresové dokumentaci. Konstrukce byla volena s ohledem na požadavek flexibility, protože se jedná o první zařízení a má posloužit k ověření funkce při změně nastavení. Box je proto z obou stran přístupný přes dvířka, nastavení kamery je možné v ose směru pásu, světelný box je možné naklápět a pohybovat jím nahoru a dolů.

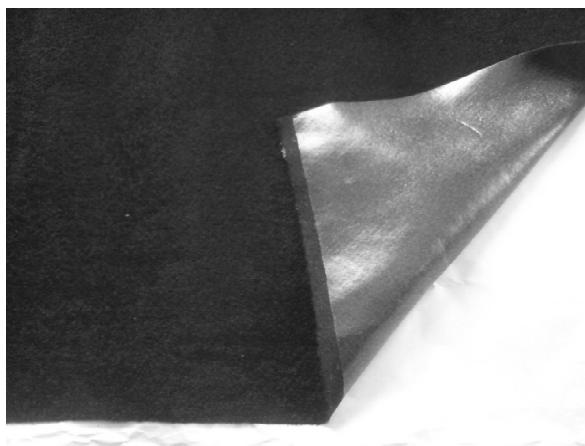
7.1 Konstrukce boxu

Samotný box je řešen s pomocí systému hliníkových profilů od firmy Haberkorn Ulmer. Konkrétně je volen profil 6 o rozměrech 60 x 60mm. Tento systém konstrukce je volen především pro vysokou přesnost, pevnost a životnost jednotlivých dílů při zachování nízké hmotnosti konstrukčního celku a pro jednoduchost montáže. Profily jsou vzájemně propojeny rohovými spojkami (obr. 23), které jsou do profilu upevněny pomocí kamenů. Kameny se vloží do drážky v hliníkovém profilu a spojky jsou do nich uchyceny šrouby. Celý box je k podlaze ukotven kotvami, které jsou dostupné jako příslušenství k hliníkovým profilům. Všechny profily jsou opatřeny povrchovou úpravou. Je na ně nanesen černý nástřik barvou RAL 9005 (tmavě černá), v provedení mat, metodou práškového lakování.



Obr. 23 Rohová spojka s kameny

Výplň ploch boxu je ze sololitových desek o tloušťce 3mm, potažených samolepícím textilním materiálem Velur (obr. 24). Velur je černá, matná tkanina, která se vlastnostmi blíží k ideálnímu difuznímu povrchu a je schopná pohltit světlo, které je v boxu (koeficient odrazivosti je uváděn na hodnotě až 0,004 [10]). To je žádoucí z toho důvodu, že snímání je třeba uskutečnit s co nejmenším množstvím odraženého světla v boxu a je také třeba box co nejlépe světelně izolovat. Tato koncepce je volena pro svoji jednoduchost a cenovou dostupnost.



Obr. 24 Samolepící velurový potah [11]

7.2 Kamera

Do boxu je zvolena kamera od firmy Basler, typ piA 2400-12gm (obr 25). Stejná kamera byla použita při laboratorních měřeních. Vyhovovala požadavkům na snímání a tak není třeba volit jinak.

Základní parametry kamery:

- Rozlišení: 2448 x 2050 px
- Typ a velikost senzoru: CCD 2/3'' (8,47 x 7,1mm)
- Komunikační rozhraní: GigaE Vision
- Barevná škála: mono

Kamera je opatřena objektivem Fujinon CF12.5HA-1 12,5mm.

Základní parametry a vlastnosti kamery:

- Malá deformace obrazu
- Kompaktní a odolná konstrukce
- Ohnisková vzdálenost: 12,5mm
- Světelnost: F1,4 – F22
- Zorné pole: (H) 38°47', (V) 29°35'



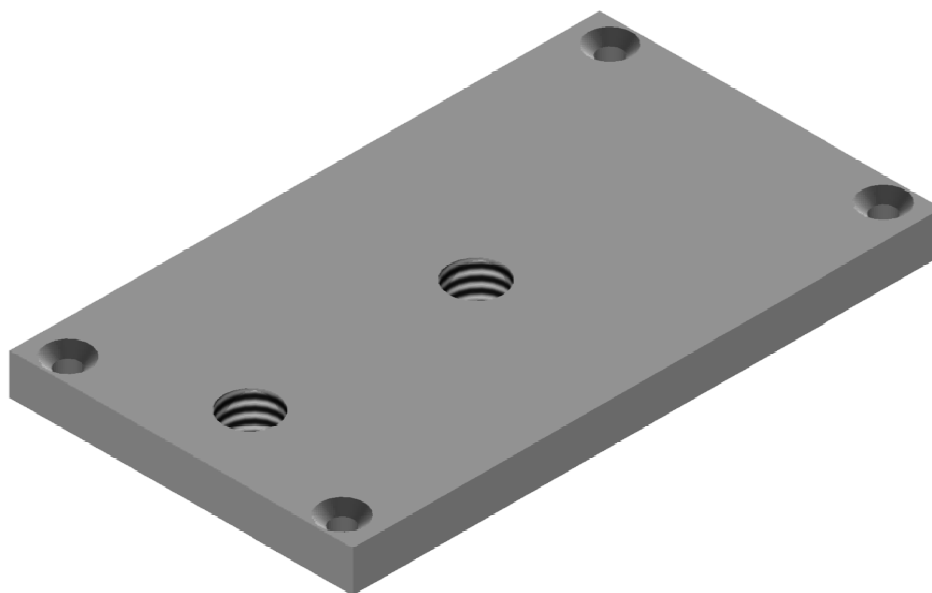
Obr. 25 Kamera Basler [12]

7.2.1 Upevnění kamery

Aby bylo možné nastavit polohu kamery, je kamera upevněna na stativové hlavě Manfrotto MA 405 (obr. 26). Protože nelze kameru na stativ přímo upevnit, je třeba použít hliníkový mezikus (obr. 27), ke kterému je možné přichytit kameru a ten pak upevnit na stativ. Mezikus je ke kameře připevněn čtyřmi šrouby M3 a k stativové hlavě závitem 3/8'', což je běžná velikost na stativových hlavách. Pro lepší možnost nastavení polohy je možné připojit stativ na 2 místa.



Obr. 26 Stativová hlava Manfrotto MA 405 [13]



Obr. 27 Mezikus pro spojení kamery a stativové hlavy

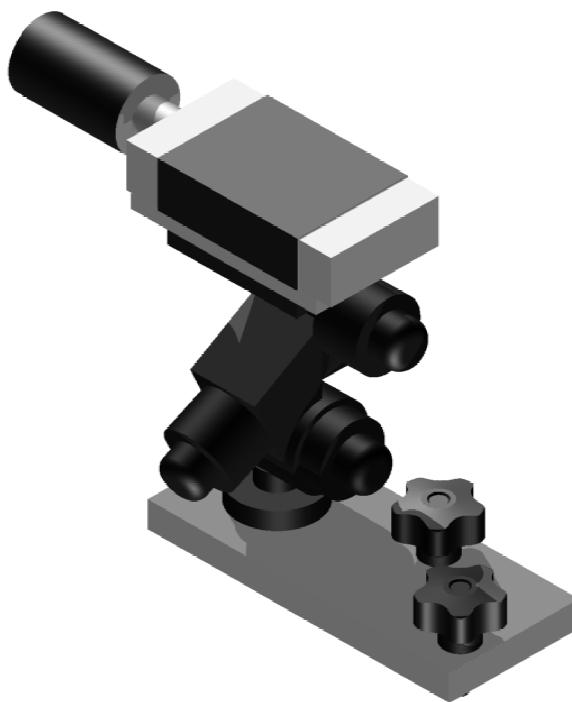
7.2.2 Nastavení pozice kamery ve směru pohybu pásu

Pro snadnější přenastavení kamery ve směru pohybu pásového dopravníku je stativová hlava připevněna na hliníkový profil pomocí dvou utahovacích koleček s označením VCT.32 p-M6x20 od firmy Eles+Ganter (obr. 28). Kolečka je možné snadno povolit, změnit pozici kamery a znovu utáhnout. Díl, kterým je hlava připevněna k profilu, je k hlavě přichycen pomocí závitu 3/8". V dílu je vyrobeno zahlobnutí, aby nedošlo ke kolizi s hliníkovým profilem.



Obr. 28 Uťahovací kolečko [14]

Pro přehlednost je celá sestava, tak jak je uchycena do hliníkového profilu na obrázku č. 29.

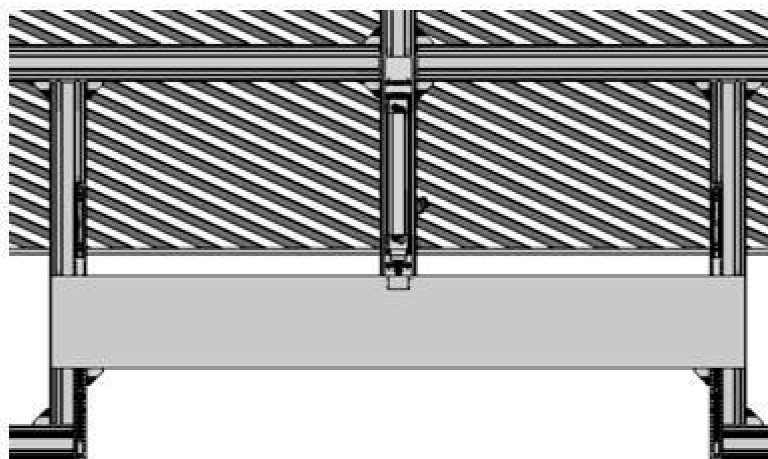


Obr. 29 Sestava kamery, stativové hlavy a dílů pro uchycení

Vyvedení kabelů z boxu je řešeno pomocí průchodek SR-9R7 (průměr 15mm) od firmy GES Eletronics, které jsou zasazeny v bočních deskách.

7.3 Zatemnění boxu

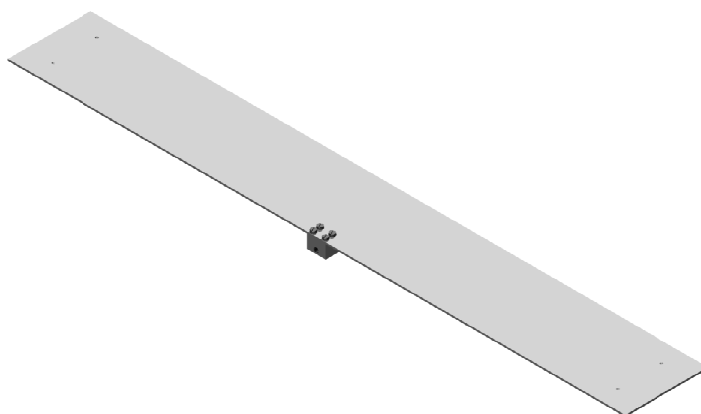
Snímkování je třeba provádět bez vlivu světla z okolí a tak je třeba zajistit, aby byl box zatemněn. Problematické místo je na vstupu a výstupu dopravníkového pásu do boxu. Zatemnění je prováděno zasunutím dvířek (obr. 30), poté co měřený kus zajede do boxu. Dvířka jsou ovládána pneumotorem, který je ovládán čidlem umístěným uvnitř boxu. Kamera fungující i jako čidlo přítomnosti výrobku podá informaci, že je kontrolovaný výrobek uvnitř boxu a dojde k uzavření.



Obr. 30 Systém zatemnění u vstupu pásu

7.3.1 Pneumotor

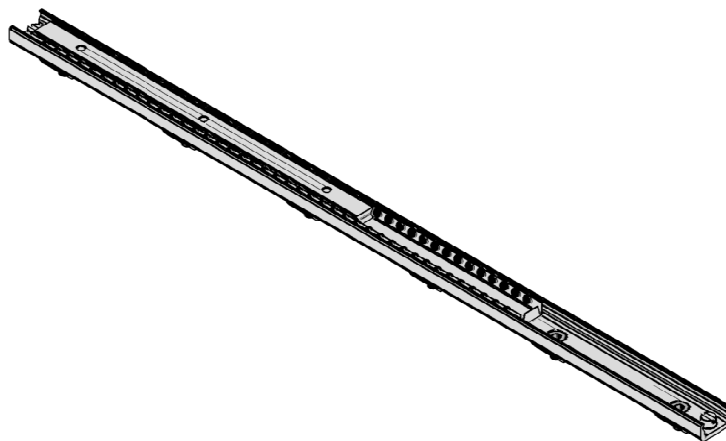
Je zvolen pneumotor od firmy Festo, typ DNC-32-150-P-A. Pneumotor je k hliníkovému profilu připevněn pomocí dvou přírub CRHNC-32, příruby k pneumotoru šrouby DIN-6912 - M6x18(F), které jsou uvedeny výrobcem jako vhodné k tomuto účelu. Do profilu jsou příruby uchyceny šrouby ISO 4017 M6 x 12, které, mají vhodné rozměry k tomu, aby pasovaly do kamenů v profilu a udržely motor. Uchycení dvířek (obr. 31) k pneumotoru je realizováno šroubem M10, který je možné objednat jako výstup z pneumotoru. Šroub je zašroubován do dílu pro uchycení, který je na vrátkách přišroubován.



Obr. 31 *Dvířka s dílem na uchycení pneumotoru*

7.3.2 Pojezd

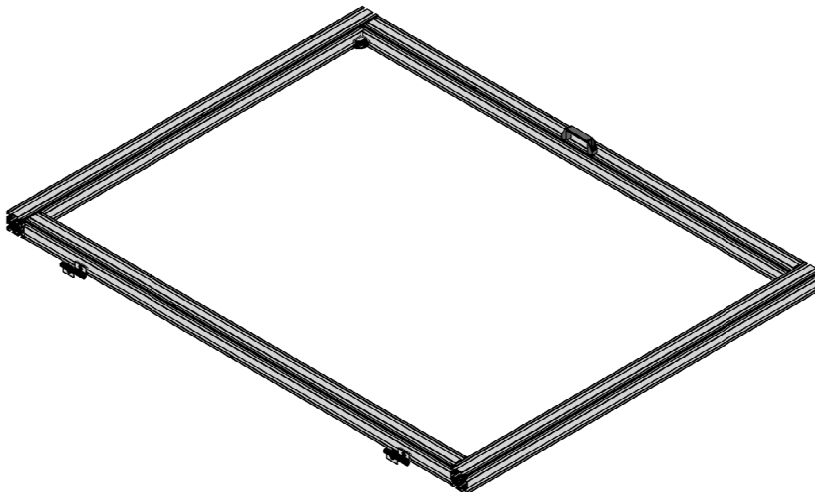
Pro snadnější vertikální pohyb dvířek a chod pneumotoru jsou dvířka uložena na pojezdy (obr. 32) od firmy ROLLON. Zvolen je typ SN22-210-450-210-1170, který svojí délkou pojezdu odpovídá zdvihu motoru 150 mm a je tedy vhodný pro zařízení. Vrátka jsou k pojezdu připevněna čtyřmi šrouby ISO 4017 M4 x 8 a pojezd je opět přichycen do kamenů.



Obr. 32 *Pojezd*

7.4 Vrata

Pro snadnější přenastavení světla a kamery jsou na obou bocích umístěny dvoukřídlé dveře. Rám dveří (obr. 33) je složen z hliníkových profilů, jako samotný box a každý rám je opatřen průmyslovým madlem firmy Elesa+Ganter typu M-443-110-N-CH, která je bez problémů možné uchytit k profilům pomocí kamenů. K základnímu boxu jsou dveře připevněny pomocí pantů, které je možné objednat jako příslušenství použitých profilů.



Obr. 33 Rám dveří s panty a madlem

Mezi rám vrat a box je pro lepší světelnou izolaci boxu na box nalepeno černé samolepící dvevní těsnění (obr. 34) od firmy Texim s.r.o. s D profilem 14 x 12mm.



Obr. 34 Samolepící těsnění [15]

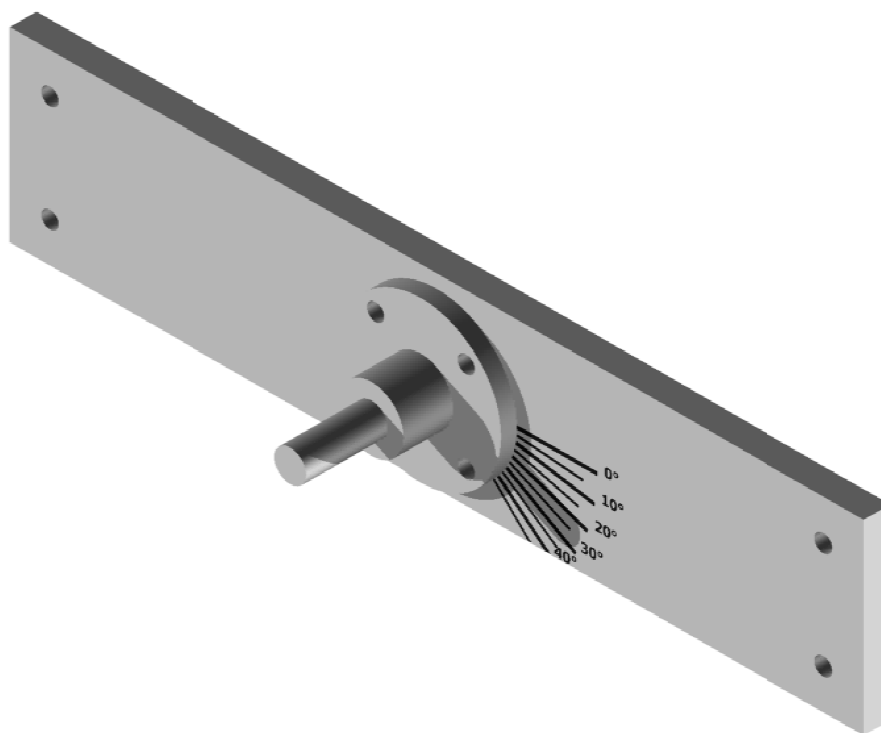
7.5 Světelný zdroj

Samotný světelný zdroj se skládá z rámu, který je svařen ze čtyř profilů o rozměrech 70 x 20mm a délce 1640mm. Z nich je svařen rám, jehož dno je zavařeno plechem. Na plech je v rozestupu 50mm umístěna led páska Power flexi, která má

světelný výkon 840lm/m. Páska je v 31 řadách a celková délka je tedy 46,5m. Celkový světelný výkon je pak 39 060lm. LED pásy jsou napájeny trafem od firmy EREKA, typ MDR 45W 230V/12V DC. Rám je překryt plastovou deskou z materiálu Plexiglas truLED, který zajistí rozptyl světla (plastová deska se používá pro světelné reklamní panely). Na desce jsou nalepeny černé neprůhledné pruhy (úhel pruhů 45°, šířka pruhů 25mm) ze samolepící folie používaná pro výrobu reklamy. Výsledné světelné pruhy jsou promítány na měřený objekt. Ze zakřivení pruhů je následně softwarově vypočítán průhyb skla.

Vyvedení kabelů z boxu je řešeno pomocí průchodek SR-9R7 (průměr 15mm) od firmy GES Eletronics, které jsou zasazeny v bočních deskách.

K rámu jsou z boku v krajní poloze přišroubovány příruby, které složí k uložení zdroje do boxu. Příruba je sešroubována z dvou dílů, které jsou vyráběny. Na jedné z přírub (obr. 35) je vygravírována stupnice, aby bylo možné přesně nastavit úhel naklopení světla.



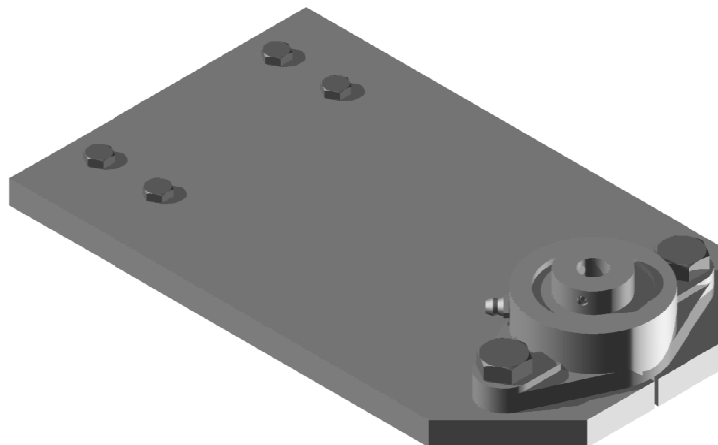
Obr. 35 Příruba se stupnicí

Na rám světla je ještě v jeho horní části navařen díl, který zajišťuje jeho fixaci.

7.5.1 Spodní uložení

Ve své spodní části je světlo uloženo do příruby s ložiskem (obr. 36) s označením UCFL201D1 od firmy NTN. Ložisko je k přírubě přišroubováno dvěma

šrouby ISO 4017 M12 x 25. Celá příruba je k rámu připevněna čtyřmi šrouby ISO 4017 M6 x 20, kterými lze bez problémů přišroubovat přírubu k rámu s použitím kamenů. Příruba je vyráběným dílem a výrobní výkres je přiložen ve výkresové dokumentaci.



Obr. 36 Příruba s ložiskem

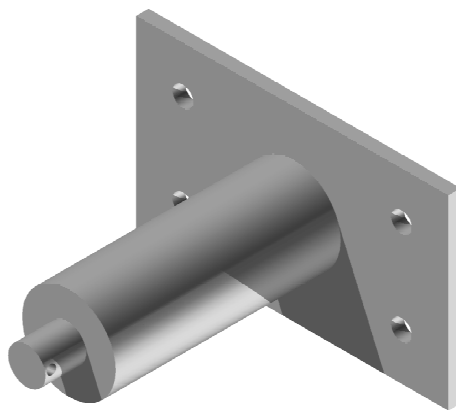
7.5.2 Vrchní uložení

Na rám světla je navařen čep, který je opatřen závitem. Po čepu se pohybuje vypalovaný díl (obr. 37), který je opatřen drážkou, v níž je čep. Po nastavení je přes závit poloha zafixována utahovací pákou od firmy Elesa Ganter typu ERX-108-B-M16.



Obr. 37 Díl pro nastavení polohy světla

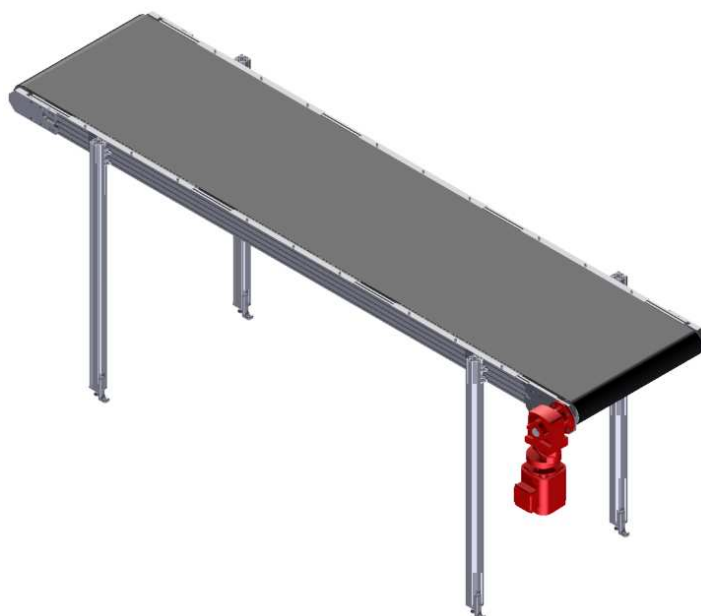
Díl pro nastavení polohy je k vrchu rámu přichycen pomocí příruby s čepem, na který je díl nasazen a zajištěn pojistný kolíček ISO 2341 A A - 3 x 16. Příruba je k rámu přišroubována čtyřmi šrouby ISO 4017 M6 x 12, které jsou zašroubovány do kamenů. Příruba (obr. 38) je svařena z plechu o tloušťce 4 mm, ve kterém jsou otvory pro šrouby a z kulatiny o průměru 30 mm, který je na konci obroben na průměr 12 mm, aby se zamezilo pohybu nasazeného dílu.



Obr. 38 Příruba pro horní uchycení světla

7.6 Dopravníkový pás

Dopravníkový pás (obr. 39), který zajišťuje dopravování měřených skel do boxu, je uložen na rám z hliníkových profilů. Pás je zvolen od firmy Siegling s matným černým povrchem z Veluru, aby byl co nejvíce eliminován odraz světla od pásu.

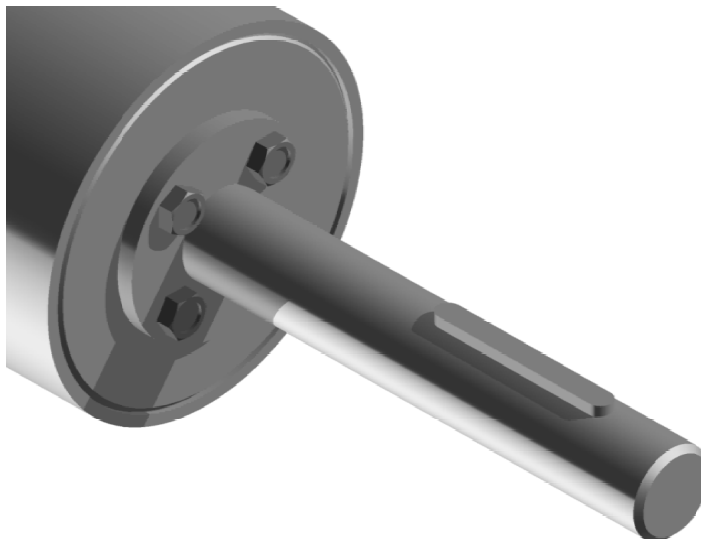


Obr. 39 Pásový dopravník

Rám je rohovými spojkami složen z hliníkových profilů. Nohy jsou ze stejného profilu jako rám boxu, tedy 60 x 60mm. Na bok pásu je použit profil 120 x 30mm o délce 3400 mm. Rám stojí na nožičkách a k podlaze je připevněn kotvami stejně jako nohy boxu.

7.6.1 Válce dopravníku

Na válce jsou navařeny čela, na které jsou přišroubovány hřídele (obr. 40).



Obr. 40 Konec válce s hřídelí

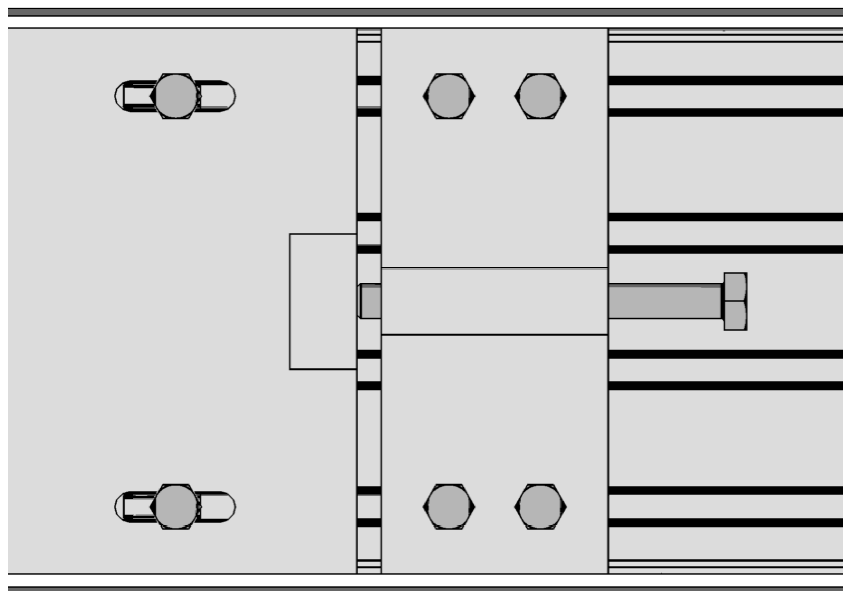
Hřídele jsou šroubovány proto, aby bylo dosaženo co nejpřesnější souososti dílů. Výrobní výkres je k nahlédnutí ve výkresové dokumentaci. Válce jsou uloženy do přírub s ložisky DIN 630 2205 - 25 x 52 x 18, které jsou přišroubovány k hliníkovým profilům pomocí kamenů. Na přírubu je na jedné straně navařen profil, který souží k napínání pásu. Na místě, kde je hřídel uložena do motoru, je přišroubován přes přírubu motor, který pohání dopravník. Spojení mezi motorem a hřídelem je realizováno perem. Je volen motor (obr. 41) od firmy SEW typ WAF47DRE90L4.



Obr. 41 Motor SEW

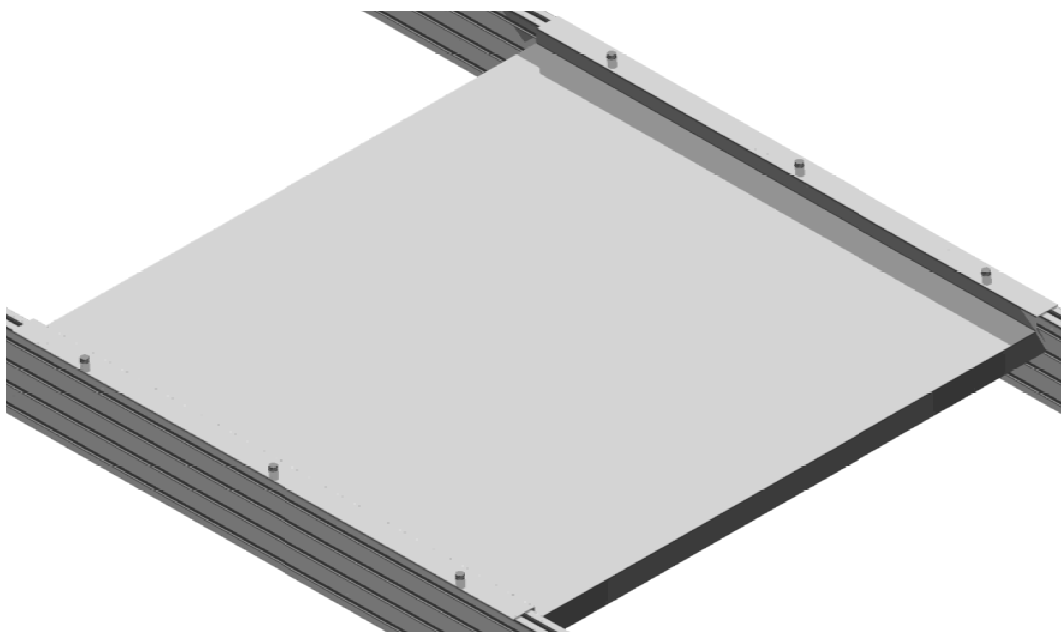
7.6.2 Napínání a vedení pásu

Aby pás byl dostatečně napínán, je na bočním profilu přišroubován do kamenů svařenec (obr. 42), skrz který vede napínací šroub, který odtlačuje přírubu a napíná tak pás.



Obr. 42 *Napínání*

Pro správné vedení pásu, zamezení sjíždění pásu z válců a prověšení pásu jsou mezi podélné profily přišroubovány tři ohýbané plechy (obr. 43), které tyto problémy eliminují.



Obr. 43 *Vedení pásu*

8 Zhodnocení

Cílem řešení bakalářské práce bylo navržení a konstrukční řešení zařízení pro kontrolu průhybu ohýbaných přířezů plochého skla. Navržené řešení je schopno vyhodnotit průhyb testovaného skla za dobu kratší, než je současných 8s a je tedy možné jej zařadit do výrobní linky.

Realizace uvedeného zařízení povede k tomu, že bude možné zrychlit celý proces kontroly, bude možné kontrolovat 100% výrobků a zvýšit tak kvalitu výroby a snížit počet reklamací. Zařízení vyžaduje pouze minimální zásahy obsluhy a to především při přenastavování celého zařízení. Při vhodném nastavení systému a správném softwarovém nastavení není obsluha nutná pro maximální rozměry skla 500x500mm.

Celkové náklady na zařízení (obr. 45) se pohybují pod hranicí 400 000 Kč.

Tabulka 3 *Finanční rozpočet zařízení*

Položka	Cena [Kč]
Náklady na software	100 000,00
AL profily + příslušenství	90 000,00
Kamera	58 000,00
Režijní a mzdové náklady	45 000,00
Ostatní materiál	35 000,00
Rám světla	10 000,00
Stativová hlava	9 500,00
Práškové lakování	8 000,00
Objektiv	7 300,00
LED páska	7 000,00
Motor	5 000,00
Pneumotory	4 000,00
Dopravníkový pás	2 000,00
Pojezdy	2 000,00
Cena celkem	382 800,00 Kč

U kontroly s použitím 3D makety jsou použity sondy, kterých je použito až 65. Cena jedné sondy je 10 770 Kč a náklady na sondy jsou okolo 700 000 Kč. Sondy podléhají opotřebení a je nutné je měnit.

Při potřebě naprogramování systému i tak cena zůstane hluboko pod hranicí ceny kontroly s použitím sond a má i výše uvedené výhody.

Závěr

Bakalářská práce předkládá konstrukční řešení nové varianty zařízení pro detekci přesnosti tvaru ohýbaných přířezů plochého skla. Řešení bylo postupně prováděno v souladu se zadáním práce.

V prvních kapitolách je proveden rozbor současného stavu kontroly skla s důrazem na ploché ohýbané sklo, je rozebrána teorie o zpracování obrazu a snímání transparentního materiálu a popsána teorie snímání skla pod velkým úhlem dopadu.

Práce popisuje laboratorní měření a jeho postupy, z kterých vyšla metoda, která je použita v následném řešení.

Řešení nezahrnovalo vývoj potřebného softwaru, ale v práci je zmíněn postup vyhodnocením získaného obrazu.

Následně jsou navrženy a představeny dvě koncepční řešení, z nichž je pomocí rozhodovací analýzy vybrána vhodnější varianta. Pro zvolenou metodu je představeno konstrukční řešení a je popsán postup konstrukce. Toto konstrukční řešení je doloženo výkresovou dokumentací formou sestavných výkresů, podsestav hlavních konstrukčních uzlů a vybraných dílenských výkresů.

V poslední kapitole je nejprve zhodnocen technický přínos zařízení a následně je proveden finanční rozbor konstrukce.

Seznam použité Literatury

- [1] Burian, L. Zařízení pro přeměrování ohybu bočních automobilových skel. [Diplomová práce] Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. 76 s.
- [2] Kelich, D. Zařízení pro vyhodnocování optické kvality tabulkového skla v odrazu světla. [Diplomová práce] Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. 57 s.
- [3] HOTAŘ, V. Systém objektivního off-line hodnocení vlnitosti plochého skla. Jemná mechanika a optika č. 9, 2008, s. 240-242, ISSN 0447-6441
- [4] HOTAŘ, V. Monitoring of Glass Production Using Vision Systems. In: 9th ESG Conference, 2008, Slovak Republic. Zurich: Trans Tech Publications Ltd. p. 511-516. ISBN: 0-87849-387-5, ISBN-13 978-0-87849-387-6
- [5] Latest Vision Technologies Offer New Horizons for Hollow Ware Inspection. [Ve sborníku conference Glassman 2007] Technická univerzita v Liberci [online], [cit. 2011-10-15] Dostupné z www:
<http://www.ksr.tul.cz/glassman/download/Proceedings_Glassman_Europe_2007_Conference.pdf>
- [6] Nokra [online], [cit. 2011-11-03] Dostupné z www:
<<http://www.nokra.de/en/messverfahren/messverfahren>>
- [7] ISRA VISION [online], [2011-11-05] Dostupné z www:
<http://www.israglassvision.com/index.php?site=index.html&dir=isra&function=set_lang&lang=en>
- [8] BASTL, M. Návrh bezkontaktního integrovaného zařízení pro měření průhybu ohýbaných skel. [Zpráva z odborné praxe] Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011. 17 s.
- [9] HOTAŘ, V. Detection of Flat Glass Shapes Using Its Reflection. In: 20th International Workshop on Robotics in Alpe-Adrie-Danube Region, 2011
- [10] HLAVÁČ, V., SEDLÁČEK, M. Zpracování signálů a obrazů. Praha: ČVUT, 2007
- [11] DORONEL [online], [cit. 2012-05-15] Dostupné z www:
<[http://www.shop.doronel.cz/store/goods-\\$00000482\\$00000001-0-samolepici-koberec--cerny.html](http://www.shop.doronel.cz/store/goods-$00000482$00000001-0-samolepici-koberec--cerny.html)>
- [12] M-VISION [online], [cit. 2012-05-15] Dostupné z www:
<http://mv21.kr/?control=products&s_code=102010204&s_resolution=&page=11&md=list&pi_uid=&sc=>>

[13] AARON [online], [cit. 2012-05-15] Dostupné z www:

<<http://www.aaron.cz/produkty/manfrotto-ma-405>>

[14] ELESÁ GANTER [online], [cit. 2012-05-15] Dostupné z www:

<<http://www.elesa-ganter.com/en/32/icat/produkty/76/utahovaci-kolecka/>>

[15] TEXIM [online], [cit. 2012-05-15] Dostupné z www:

<<http://www.texim.eu/texim-katalog-zbozi-tesneni-zahrada/samolepici-tesneni-do-oken-a-dveri/profily-d-list/>>